



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΥΓΕΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΙΑΤΡΙΚΗΣ



ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΑΝΑΤΟΜΙΑΣ

Διευθυντής Δ. Αρβανίτης

Διδακτορική Διατριβή

**«Μελέτη της ανατομίας των μεσοσπονδύλιων διαστημάτων της αυχενικής,
θωρακικής και οσφυϊκής μοίρας της σπονδυλικής στήλης με τη χρήση
σύγχρονων απεικονιστικών μεθόδων»**

υπό

τον

Απόστολο Χ. Φύλλο

Ιατρό Ορθοπαιδικό

Υπεβλήθη για την εκπλήρωση μέρους των

απαιτήσεων για την απόκτηση του

Διδακτορικού Διπλώματος

Λάρισα, 2018

© 2018 ΑΠΟΣΤΟΛΟΣ ΦΥΛΛΟΣ

Η έγκριση της διδακτορικής διατριβής από το Τμήμα Ιατρικής της Σχολής Επιστημών Υγείας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα (σύμφωνα με τις διατάξεις του άρθρου 202, παράγραφος 2 του Ν.5343/1932).

**Εγκρίθηκε από τα Μέλη της Επταμελούς Εξεταστικής Επιτροπής
(14^η/30.05.2018):**

1^{ος} Εξεταστής (Επιβλέπων)	Αριστείδης Ζιμπής Αναπληρωτής Καθηγητής Ανατομίας, Τμήμα Ιατρικής, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
2^{ος} Εξεταστής	Δημήτριος Αρβανίτης Καθηγητής Ανατομίας, Τμήμα Ιατρικής, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
3^{ος} Εξεταστής	Σωκράτης Βαρντιμίδης Καθηγητής Ορθοπαιδικής, Τμήμα Ιατρικής, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
4^{ος} Εξεταστής	Κωνσταντίνος Μαλίζος Καθηγητής Ορθοπαιδικής, Τμήμα Ιατρικής, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
5^{ος} Εξεταστής	Θεόφιλος Καραχάλιος Καθηγητής Ορθοπαιδικής, Τμήμα Ιατρικής, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
6^{ος} Εξεταστής	Απόστολος Καραντάνας Καθηγητής Ακτινολογίας, Τμήμα Ιατρικής, Πανεπιστήμιο Κρήτης
7^{ος} Εξεταστής	Αικατερίνη Βάσιου Αναπληρώτρια Καθηγήτρια Ανατομίας, Τμήμα Ιατρικής, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Στους γονείς μου

Στους δασκάλους μου

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω την Αλεξάνδρα Μάρκου, που στάθηκε δίπλα μου στη δύσκολη αυτή πορεία μέχρι την ολοκλήρωση της διατριβής.

Θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στον κ. Αριστείδη Ζιμπή, Αναπληρωτή Καθηγητή Ανατομίας, για την ανάθεση του θέματος της διδακτορικής διατριβής, το αμέριστο ενδιαφέρον που έδειξε, τις γόνιμες υποδείξεις του και τη συνεχή ενθάρρυνση μέχρι την ολοκλήρωση αυτής της προσπάθειας.

Απόστολος Φύλλος

ΒΙΟΓΡΑΦΙΚΟ ΣΗΜΕΙΩΜΑ

ΠΡΟΣΩΠΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ

Οικογενειακή κατάσταση : Ανύπαντρος

Εθνικότητα : Ελληνική

Ηλικία : 34 (12/08/1984)

Τόπος Γέννησης : Καρδίτσα, Ελλάδα

ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ

2002-2008 Ιατρική Σχολή Αθήνας, Εθνικό Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο, Βαθμός Πτυχίου: «Καλώς» (6,43)

1999-2002 3ο Λύκειο Καρδίτσας Βαθμός Απολυτηρίου: 19,8/20

1996-1999 4ο Γυμνάσιο Λιβαδειάς Βαθμός Απολυτηρίου: 19,9/20

ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗ ΕΜΠΕΙΡΙΑ

04/2014 – (παρόν) Υποψήφιος διδάκτωρ στο τμήμα Ανατομίας Ιατρικής Σχολής Λάρισας, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

12/2008 – 04/2009 Βοηθός Ερευνητή σε ερευνητικό πρόγραμμα του τμήματος Ηλεκτροφυσιολογίας του Αιγινήτειου Νοσοκομείου

ΕΡΓΑΣΙΑΚΗ ΕΜΠΕΙΡΙΑ

07/2016 – (παρόν) Ειδικευόμενος ιατρός Ορθοπαιδικής στο Πανεπιστημιακό Νοσοκομείο Λάρισας

09/2014 - 06/2016 Ειδικευόμενος ιατρός Ορθοπαιδικής στο ΓΝ Καρδίτσας

08/2013 - 07/14 Ιατρός Υπαίθρου

02/2012 - 08/2013 Ειδικευόμενος ιατρός Γενικής Χειρουργικής στο ΓΝ Καρδίτσας

11/2010 - 08/2011 Οπλίτης Ιατρός (εκπλήρωση στρατιωτικής θητείας)

08/2009 - 08/2010 Foundation Year 2 Doctor (Ειδικευόμενος ιατρός) Νοσοκομείου Bronglais, Aberystwyth Ουαλίας (4 μήνες Γενική Ιατρική, 4 μήνες Γενική Χειρουργική, 4 μήνες Ορθοπαιδική). Εκπλήρωση του Foundation Program και δικαίωμα συνέχισης ειδικότητας στο Ηνωμένο Βασίλειο

ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΗ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗ ΣΕ ΣΥΝΕΔΡΙΑ - ΗΜΕΡΙΔΕΣ

9/2018 Παρουσίαση υλικού διατριβής στο 10^ο ετήσιο διεθνές συνέδριο ISCAA στη Μόσχα

5/2018 Συμμετοχή με poster στο 18^ο ετήσιο διεθνές συνέδριο της ESSKA στη Γλασκώβη

- 5/2018 Συμμετοχή με poster στο 19^ο ετήσιο συνέδριο της EFORT
- 2/2018 Συμμετοχή ως εκπαιδευόμενος στο Διεθνές σεμινάριο της AO: Basic principles of fracture management
- 01/2018 Προσκεκλημένος ομιλητής στο 6ο Σεμινάριο Κλινικής Ανατομίας Ώμου
- 11/2017 3ο βραβείο ερευνητικής εργασίας στο 11^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Σπονδυλικής Στήλης (υλικό διατριβής)**
- 10/2017 Παρουσίαση μερικών αποτελεσμάτων της διατριβής στο 73^ο πανελλήνιο συνέδριο της Ελληνικής Εταιρείας Χειρουργικής Ορθοπαιδικής και Τραυματολογίας (ΕΕΧΟΤ)**
- 5/2017 Συμμετοχή ως εκπαιδευόμενος στο Διεθνές σεμινάριο Athens Sports imaging course
- 2013 - 2016 Εκπαιδευτής στο 2ο-5ο Σεμινάριο Συρραφής Τραύματος του Εργαστηρίου Ανατομίας
- 12/2016 22ο Κοινό Συνέδριο Ελληνικής Εταιρείας Επανορθωτικής Μικροχειρουργικής και Χειρουργικής Χεριού και άνω άκρου
- 02/2016 1ο Σεμινάριο χειρουργικής πηχεοκαρπικής IBRA
- 04/2015 6ο Σεμινάριο χειρουργικής ανατομικής ποδοκνημικής και άκρου ποδός
- 01/2015 2ο Σεμινάριο κλινικής ανατομίας ώμου
- 10/2012 Συμμετοχή με ποστερ στο 28ο Πανελλήνιο Συνέδριο Γενικής Χειρουργικής
- 08/2009 – 08/2010 Συμμετοχή σε όλες τις εκπαιδευτικές δραστηριότητες του Foundation School του Πανεπιστημίου του Κάρντιφ και απόκτηση αντιστοίχων διπλωμάτων
- 09/2009 Advanced Life Support (ALS) Course
- 2008 Πανελλήνιο Συνέδριο Μαιευτικής και Γυναικολογίας (φοιτητής)
- 2007 Σεμινάριο Λοιμωδών Νόσων Λαϊκού Νοσοκομείου Αθηνών (φοιτητής)

ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΙΣ-ΣΥΓΓΡΑΦΙΚΗ ΕΜΠΕΙΡΙΑ

Κεφάλαια Κλινικής Και Χειρουργικής Ανατομίας Ώμου στο σύγγραμμα «Κλινική Ανατομία Ώμου», Αριστείδης Χ. Ζιμπής, Εκδόσεις Κωνσταντάρα, 2017

Magnetic resonance morphometry of the adult normal lumbar intervertebral space. Fyllos AH, Arvanitis DL, Karantanis AH, Varitimidis SE, Hantes M, Zibis AH. Surg Radiol Anat. 2018 Jun 6. doi: 10.1007/s00276-018-2048-7.

Detection of O-Linked-N-Acetylglucosamine Modification and Its Associated Enzymes in Human Degenerated Intervertebral Discs. Georgios Nikolaou, Aristeidis H. Zibis, Apostolos H. Fyllos, Antonios Katsioulis, Sotirios Sotiriou, Anastasios Kotrotsios, Markos Sgantzios, Aikaterini Vassiou, Dimitrios L. Arvanitis. Asian Spine J 2017;11(6):863-869

Scrotal Apocrine Adenocarcinoma with Pagetoid Phenomenon and Inguinal Lymph Node Metastases. Zibis AH, Fyllos AH, Havaki S, Sotiriou S, Kotakidis G, Arvanitis DL. Case Rep Oncol Med. 2016;2016:8353745.

Quadratus femoris tear as an unusual cause of hip pain: a case report. Zibis AH, Fyllos AH, Karantanas AH, Raoulis V, Karachalios TS, Arvanitis DL. Hip Int. 2016 Feb 8;26(1):e7-9.

Symptomatic cervical perineural (Tarlov) cyst: a case report. Zibis AH, Fyllos AH, Arvanitis DL. Hippokratia. 2015 Jan-Mar;19(1):76-7

Osteonecrosis of the femoral head - Diagnosis and management. Zibis AH, Fyllos AH, Karantanas, Arvanitis DL, Dailiana Z, Malizos KN, Precis Med 2015 ;2 : e868

Dermatofibrosarcoma protuberans: a rare entity and review of the literature. Stamatakis M, Fyllos A, Siafogianni A, Ntzeros K, Tasiopoulou G, Rozis M, Kontzoglou K. J BUON. 2014 Jan-Mar;19(1):34-41

Evaluation of the sudomotor c-fiber function with transcutaneous electrical stimulation in normal subjects. Πρακτικά συνεδρίου EFIC 2009 στο European Journal of Pain.

«Μελέτη της ανατομίας των μεσοσπονδύλιων διαστημάτων της αυχενικής, θωρακικής και οσφυϊκής μοίρας της σπονδυλικής στήλης με τη χρήση σύγχρονων απεικονιστικών μεθόδων»

Απόστολος Χ. Φύλλος

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Ιατρικής, 2016

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΣΥΜΒΟΥΛΕΥΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

1. **Αριστείδης Ζιμπής**, Αναπληρωτής Καθηγητής Ανατομίας, Τμήμα Ιατρικής, Πανεπιστήμιο

Θεσσαλίας (Επιβλέπων)

2. **Δημήτριος Αρβανίτης**, Καθηγητής Ανατομίας, Τμήμα Ιατρικής, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

3. **Σωκράτης Βαρυτιμίδης**, Καθηγητής Ορθοπαιδικής, Τμήμα Ιατρικής, Πανεπιστήμιο

Θεσσαλίας

Περίληψη

Στόχος της παρούσας μελέτης ήταν η μέτρηση και καταγραφή των διαστάσεων του φυσιολογικού μεσοσπονδυλίου διαστήματος (πρόσθιο μεσαίο, οπίσθιο ύψος και προσθιοπίσθια διάμετρος) σε μέσες οβελιαίες τομές T2 ακολουθίας σε μαγνητική τομογραφία (MRI). Επιπλέον, οι σχέσεις των μεσοσπονδυλίων διαστημάτων εκφράστηκαν μέσω απεικονιστικών δεικτών (disc height index – DHI και μέσο ύψος) και τα αποτελέσματα της μελέτης συσχετίστηκαν με κλινικές εφαρμογές.

Από μια βάση δεδομένων ακτινολογικού κέντρου, συγκεντρώθηκαν και αξιολογήθηκαν αναδρομικά συνολικά 500 MRI αυχενικής (ΑΜΣΣ), θωρακικής (ΘΜΣΣ) και οσφυϊκής μοίρας (ΟΜΣΣ). Ως κριτήρια αποκλεισμού χρησιμοποιήθηκαν: η ύπαρξη σκολίωσης, μεσοσπονδύλιοι δίσκοι με εκφύλιση κατά Pfirrmann σταδίου III ή μεγαλύτερη, οποιαδήποτε μορφής δισκοκήλη, η ύπαρξη όζων του Schmorl, η εμφάνιση αλλαγών τύπου Modic, η παρουσία συγγενών ανωμαλιών, προηγούμενα σπονδυλικά κατάγματα, η παρουσία όγκων και προηγούμενες χειρουργικές επεμβάσεις. Από αυτές επελέγησαν 40 MRI ΑΜΣΣ, 20 MRI ΘΜΣΣ και 51 MRI ΟΜΣΣ για να πραγματοποιηθούν οι μετρήσεις. Τα αποτελέσματα κατηγοριοποιήθηκαν ανά μοίρα της σπονδυλικής στήλης. Παράλληλα, μελετήθηκε προοπτικά η επίδραση συγκεκριμένου βάρους σε σακίδιο ράχης (10% του σωματικού βάρους) από 10 υγιείς εθελοντές (ηλικιακό εύρος 18-28 έτη). Πραγματοποιήθηκε πρωινή MRI χωρίς την επίδραση βάρους ως αναφορά και απογευματινή MRI ύστερα από 6ωρη εφαρμογή του βάρους με φυσιολογική δραστηριότητα των εθελοντών. Μετρήθηκε το ανάστημα και οι διαστάσεις κάθε μεσοσπονδύλιου διαστήματος σε όλη τη σπονδυλική στήλη προ και μετά της εφαρμογής του βάρους.

Καταγράφηκαν οι διαστάσεις κάθε μεσοσπονδύλιου διαστήματος για κάθε μοίρα ξεχωριστά και έγινε σύγκριση των τιμών αυτών με άλλες καταγεγραμμένες μετρήσεις στη βιβλιογραφία. Συγκρίθηκαν τα ύψη και η διάμετρος των διαστημάτων μεταξύ τους και αναδείχθηκαν οι στατιστικά σημαντικές σχέσεις, δηλαδή καταγράφηκε η μεταβολή των διαστάσεων του μεσοσπονδύλιου δίσκου ανά επίπεδο. Επιπρόσθετα, έγινε προσπάθεια διαμόρφωσης εξισώσεων πρόβλεψης διακύμανσης του φυσιολογικού ύψους του μεσοσπονδύλιου διαστήματος με βάση τις διαστάσεις του γειτονικού του διαστήματος. Σε ότι αφορά την προοπτική μελέτη των υγιών εθελοντών, αναδείχθηκε η ημερήσια μεταβολή του μεσοσπονδύλιου ύψους και διαμέτρου σε κάθε επίπεδο.

Τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης δημιουργούν μια βάση δεδομένων για μελλοντική αναφορά. Συσχετίστηκαν με την προεγχειρητική επιλογή χειρουργικών εμφυτευμάτων για την αναστήλωση του εκφυλισμένου διαστήματος αλλά και με τα όρια της διεγχειρητικής διάταξης του διαστήματος.

Summary

The aim of the present study was to measure in detail and document normal intervertebral space dimensions (front height, middle height, rear height, anteroposterior diameter) in mid-sagittal MR T2W images. In addition, intervertebral space relationships were expressed as imaging indices and results were correlated with clinical applications.

500 MRIs (cervical, thoracic and lumbar), provided by a single center, were retrospectively reviewed. Exclusion criteria were scoliosis, discs with Pfirrmann's degeneration stage III or higher, any disc protrusion/herniation, Schmorl's nodes, Modic changes, presence of congenital abnormalities, previous or recent vertebral fractures, tumors and previous spinal surgery. Our final sample consisted of 40 cervical spine MRIs, 20 thoracic spine MRIs and 51 lumbar MRIs. Results were categorized per spinal region. Furthermore, we prospectively studied the effect of added weight on disc height by applying 10% of body weight in a backpack in 10 normal subjects-volunteers (age range 18-28 years). An MRI was performed in the morning as baseline reference and another one was performed after applying the added weight for 6 hours of normal volunteer activity. Body height and disc height measurements were performed in both MRIs.

Intervertebral space measurements per spinal region were recorded and compared with measurements from other published studies. Disc height and diameter were statistically compared per spinal level and variation of intervertebral space dimensions was analysed. Furthermore, we expressed height variation of every intervertebral space as a percentage of its adjacent space with the use of primary equations. In our prospective volunteer study, diurnal variation of disc height and diameter was highlighted for every intervertebral disc.

Our results can be used as baseline reference and our aim was to create database values. They were also correlated with preoperative templating of surgical implants for current surgical techniques aiming at restoring the degenerated intervertebral disc as well as with perioperative distraction limitations.

Πίνακας Περιεχομένων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ Α: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1. Γενικά ανατομικά στοιχεία της σπονδυλικής στήλης...σελ.14

1.1 Αδρή οστική ανατομία – φυσιολογικά κυρτώματα

1.2 Σύνδεσμοι σπονδυλικής στήλης

1.3 Ο νωτιαίος μυελός

1.4 Αιμάτωση

2. Το μεσοσπονδύλιο διάστημα...σελ.21

2.1 Το σπονδυλικό σώμα

2.2 Ο μεσοσπονδύλιος δίσκος

2.3 Η τελική πλάκα

2.4 Εμβιομηχανική, θρέψη και νεύρωση του μεσοσπονδυλίου διαστήματος

3. Εφαρμοσμένη Ανατομία της σπονδυλικής στήλης...σελ.34

4. Εκφύλιση...σελ.36

5. Απεικονιστική ανατομία...σελ.40

5.1 Απεικόνιση με μαγνητική τομογραφία

5.2 Σταδιοποίηση εκφύλισης

5.3 Νεότερες τεχνικές απεικόνισης

5.4 Αλλοιώσεις τύπου Modic

5.5 Ερμηνεία ευρημάτων στην μαγνητική τομογραφία

5.6 Αναλυτικά απεικονιστική ανατομία αυχενικής, θωρακικής και οσφυϊκής μοίρας σπονδυλικής στήλης

6. Χειρουργικές ενδείξεις και εγχειρητικές τεχνικές...σελ.56

Βιβλιογραφία...σελ.60

ΚΕΦΑΛΑΙΟ Β: ΣΚΟΠΟΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ Γ: ΥΛΙΚΟ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΣ

- 1. Συλλογή δεδομένων...σελ.66**
- 2. Πρωτόκολλο μαγνητικής τομογραφίας...σελ.70**
- 3. Στατιστική επεξεργασία...σελ.70**
- Βιβλιογραφία...σελ.71**

ΚΕΦΑΛΑΙΟ Δ: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

- 1. Αυχενική μοίρα...σελ.72**
- 2. Θωρακική μοίρα...σελ.76**
- 3. Οσφυϊκή μοίρα...σελ.80**
- 4. Ερευνητικό πρωτόκολλο εθελοντών...σελ.86**
- Βιβλιογραφία...σελ.88**

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ: ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ Ε: ΣΥΖΗΤΗΣΗ

- 1. Αυχενική μοίρα...σελ.109**
- 2. Θωρακική μοίρα...σελ.113**
- 3. Οσφυϊκή μοίρα...σελ.115**
- 4. Ερευνητικό πρωτόκολλο εθελοντών...σελ.121**
- Βιβλιογραφία...σελ.124**

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΣΤ: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ: ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΗ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ Α: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

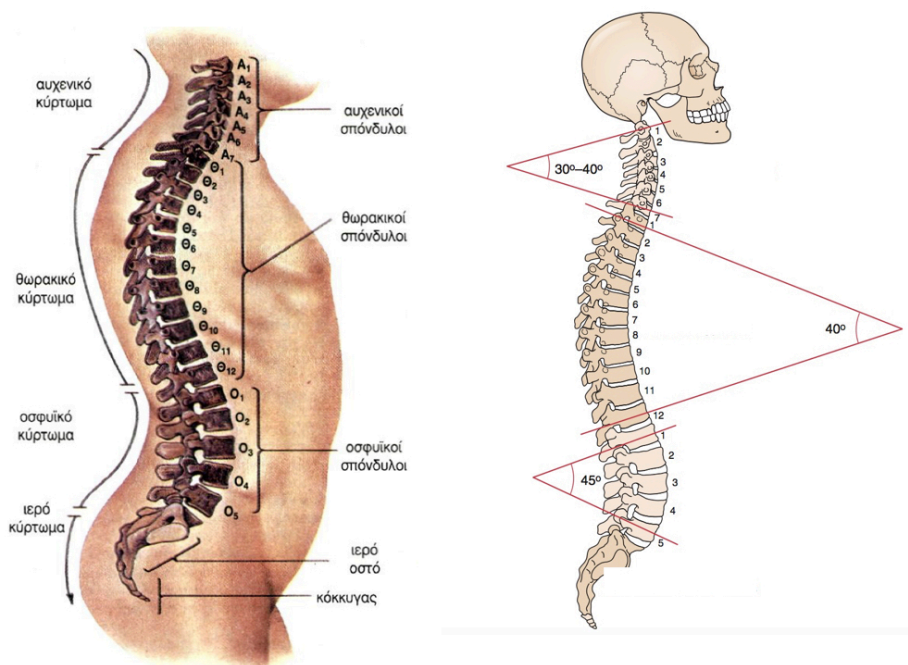
1. Γενικά ανατομικά στοιχεία της σπονδυλικής στήλης

1.1 Αδρή οστική ανατομία – φυσιολογικά κυρτώματα

Η σπονδυλική στήλη αποτελείται από 33 σπονδύλους: 7 αυχενικούς, 12 θωρακικούς, 5 οσφυϊκούς, 5 συνοστεωμένους ιερούς (ιερό οστό) και 4 συνοστεωμένους κοκκυγικούς (κόκκυγας). Φυσιολογικά κυρτώματά της είναι η αυχενική λόρδωση, η θωρακική κύφωση, η οσφυϊκή λόρδωση και η ιερή κύφωση (εικόνα 1).

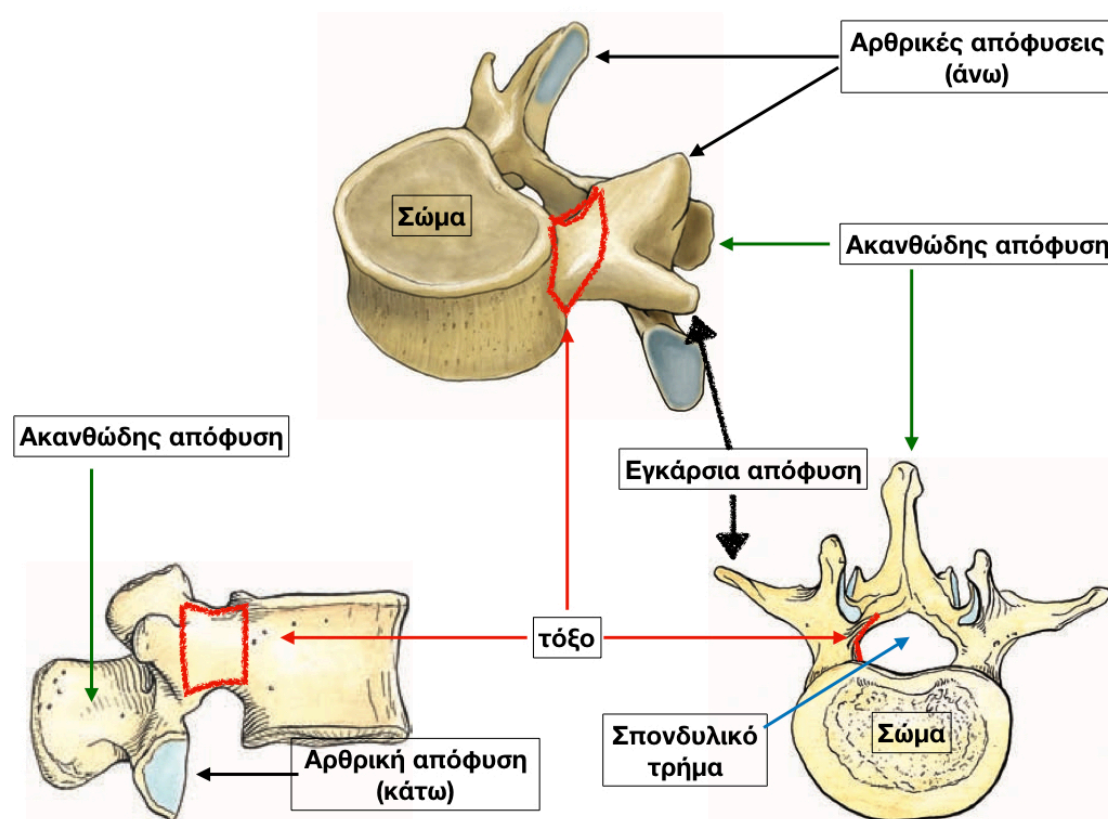
Η σπονδυλική στήλη για λόγους ανατομικούς και τραυματολογικούς χωρίζεται σε 3 κολώνες: την πρόσθια, μέση και οπίσθια. Σαν πρόσθια κολώνα θεωρούνται τα πρόσθια 2/3 των σπονδυλικών σωμάτων και των μεσοσπονδύλιων δίσκων και ο πρόσθιος επιμήκης σύνδεσμος και φέρει το μεγαλύτερο μέρος της αξονικής φόρτισης (75%). Η μέση κολώνα αποτελείται από τα οπίσθια 1/3 των σπονδυλικών σωμάτων και μεσοσπονδύλιων δίσκων, ενώ η οπίσθια κολώνα περιλαμβάνει τις σπονδυλικές αποφύσεις και τον οπίσθιο επιμήκη σύνδεσμο.

Η μεσοσπονδύλια διάρθρωση είναι τριπλή διάρθρωση αποτελούμενη από την άρθρωση τελικής πλάκας – δίσκου – τελικής πλάκας της πρόσθιας κολώνας και των δυο ζυγοαποφυσιακών αρθρώσεων της οπίσθιας κολώνας, ενώ υποστηρίζεται από συνδεσμικά στοιχεία και μυϊκές ομάδες [1,2].



Εικόνα 1 Φυσιολογικά κυρτώματα σπονδυλικής στήλης

Με την εξαίρεση των 2 πρώτων αυχενικών σπονδύλων (του άτλαντα και του άξονα) όλοι οι υπόλοιποι σπόνδυλοι (μέχρι τον τελευταίο οσφυϊκό) έχουν κοινά χαρακτηριστικά. Κάθε σπόνδυλος αποτελείται από ένα πρόσθιο σχεδόν κυλινδρικό σώμα και ένα οπίσθιο τόξο. Το τόξο αποτελείται από δύο συμμετρικά ημιμόρια, το καθένα από τα οποία αποτελείται από το μίσχο μπροστά και το πέταλο πίσω. Μεταξύ των αυχένων των τόξων γειτονικών σπονδύλων σχηματίζονται τα μεσοσπονδύλια τρήματα για την έξοδο των νωτιαίων νεύρων. Τα ημιμόρια συνενώνονται προς τα πίσω στη μέση γραμμή σχηματίζοντας την ακανθώδη απόφυση ενώ ανάμεσα τους δημιουργείται το σπονδυλικό τρήμα. Το άθροισμα των σπονδυλικών τρημάτων δημιουργεί το σπονδυλικό σωλήνα μέσα από τον οποίο διέρχεται ο νωτιαίος μυελός. Σε κάθε πλάγια πλευρά του τόξου υπάρχουν οι εγκάρσιες αποφύσεις όπως και οι ανάντιες και κατάντιες αρθρικές αποφύσεις. Οι ακανθώδεις και οι εγκάρσιες αποφύσεις λειτουργούν ως προσφύσεις μυών και συνδέσμων, ενώ οι αρθρικές αποφύσεις δυο διαδοχικών σπονδύλων σχηματίζουν τις μεσοσπονδύλιες ή ζυγοαποφυσιακές αρθρώσεις. Οι ζυγοαποφυσιακές διαρθρώσεις έχουν διαφορετικό προσανατολισμό σε κάθε μοίρα της σπονδυλικής στήλης (εικόνες 2,3) [1,2].



Εικόνα 2 Σχηματική απεικόνιση κοινών χαρακτηριστικών σπονδύλων (υπόδειγμα σε Ο2 σπόνδυλο)

1.2 Σύνδεσμοι σπονδυλικής στήλης

Ο πρόσθιος και οπίσθιος επιμήκης σύνδεσμος, ο ωχρός σύνδεσμος, ο επακάνθιος σύνδεσμος, οι μεσακάνθιοι και οι μεσεγκάρσιοι σύνδεσμοι αποτελούν τη συνδεσμική υποστηρικτική δομή της σπονδυλικής στήλης (εικόνες 3,4). Οι επιμήκεις σύνδεσμοι είναι αποπλατυσμένες ινώδεις ταινίες που εκτείνονται από τη βάση του κρανίου έως και το ιερό οστό. Αποτελούνται από παράλληλες κάθετες ίνες κολλαγόνου και καλύπτουν την πρόσθια και οπίσθια επιφάνεια των σπονδυλικών σωμάτων και δίσκων. Οι ίνες κολλαγόνου έχουν κυματοειδή μορφή κατά την ηρεμία και ευθείάζονται κατά την κάμψη ή έκταση της σπονδυλικής στήλης, αυξάνοντας έτσι το μήκος των επιμηκών συνδέσμων.

Ο πρόσθιος επιμήκης σύνδεσμος είναι μια πολύ ισχυρή δομή που καλύπτει την πρόσθια επιφάνεια των σπονδύλων και μικρό τμήμα των πλάγιων επιφανειών. Είναι παχύτερος στο κέντρο του σπονδυλικού σώματος και λεπτότερος στη περιφέρεια του. Αποτελείται από πολλαπλές στιβάδες ινών, εκ των οποίων οι ίνες των επιφανειακών στιβάδων εκτείνονται σε μήκος 3-4 σπονδύλων, των μεσαίων σε μήκος 2-3 σπονδύλων και των εν τω βάθει στιβάδων συνδέουν τα σώματα δυο γειτονικών σπονδύλων. Οι εσωτερικές ίνες του συνδέσμου καταφύονται στερεά στην περιφέρεια του ινώδους δακτυλίου και τις δακτυλιοειδείς αποφύσεις των σπονδυλικών σωμάτων, ενώ συνδέονται πιο χαλαρά με το περίοστεο της πρόσθιας επιφάνειας των σπονδυλικών σωμάτων. Ο πρόσθιος επιμήκης σύνδεσμος συμβάλλει στη σταθερότητα της σπονδυλικής στήλης και είναι ο κύριος υπεύθυνος για τον περιορισμό της υπερέκτασης γειτονικών σπονδύλων.

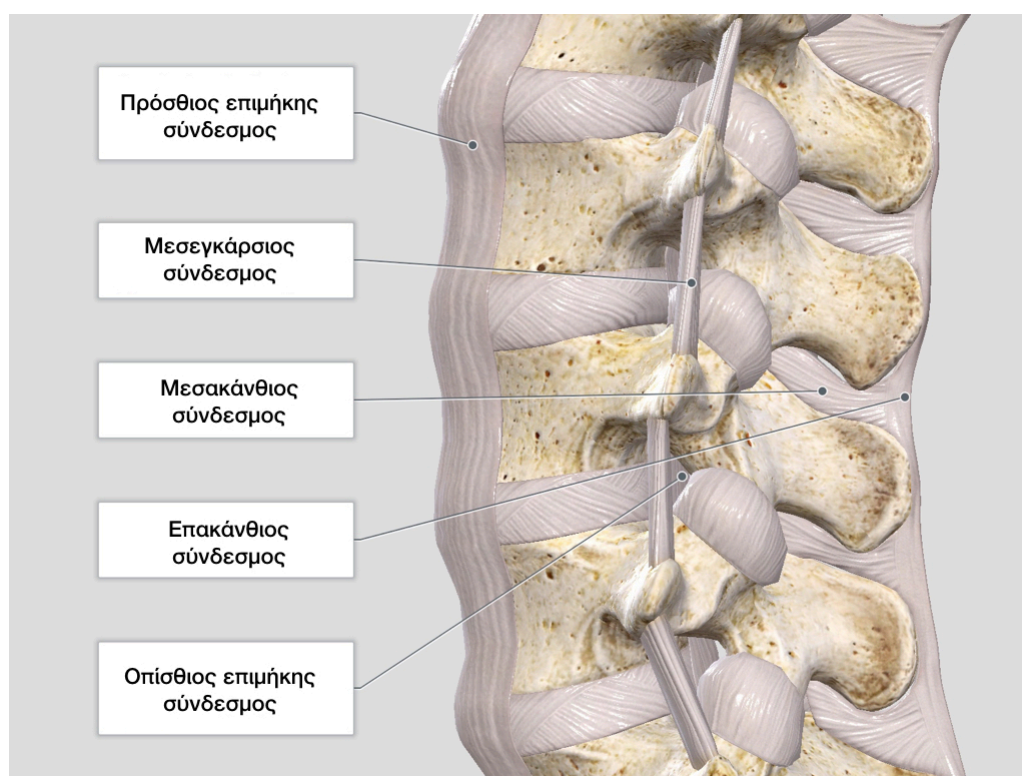
Ο οπίσθιος επιμήκης σύνδεσμος είναι λιγότερο ισχυρός από τον πρόσθιο, πιο ελαστικός ενώ έχει και μικρότερο πλάτος. Καλύπτει το κεντρικό τμήμα της οπίσθιας επιφάνειας του σώματος και του δίσκου. Στο ύψος του μεσοσπονδύλιο δίσκου διαπλατύνεται για να καλύψει μεγαλύτερο τμήμα του δίσκου σε σχέση με το σώμα. Οι εσωτερικές του ίνες καταφύονται στερεά στον ινώδη δακτύλιο του δίσκου και τις δακτυλιοειδείς αποφύσεις των σωμάτων, ενώ διαχωρίζονται από το κυρίως μέρος του σπονδυλικού σώματος από χώρο που επιτρέπει τη διόδο των σπονδυλικών αγγείων. Οι κύριες λειτουργίες του οπίσθιου επιμήκους συνδέσμου είναι ο περιορισμός της υπέρμετρης κάμψης της σπονδυλικής στήλης και η ενίσχυση του οπισθίου τμήματος του ινώδους δακτυλίου.

Ο ωχρός σύνδεσμος είναι ένας ισχυρός ελαστικός σύνδεσμος που συνδέει τα πέταλα δύο διαδοχικών σπονδύλων και βρίσκεται συνεχώς υπό τάση. Κάθε σύνδεσμος φέρεται λοξά άνωθεν και έμπροσθεν με κατεύθυνση προς τα κάτω και οπισθίως, χωρίς να καλύπτει όμως τον αυχένα του τόξου. Προς τα πίσω οι δύο εκατέρωθεν ωχροί σύνδεσμοι συνενώνονται, επιτρέποντας παράλληλα τη διόδο διατραπεζικών φλεβών. Η αυξημένη τους περιεκτικότητα σε ελαστικές ίνες (2/3 ελαστικές ίνες – 1/3 ίνες κολλαγόνου) τους προσδίδει την κιτρινωπή χροιά στην οποία οφείλουν την ονομασία τους. Αποτρέπουν την υπερβολική κάμψη της σπονδυλικής στήλης και χάρη στην ελαστικότητά τους υποβοηθούν τη μηχανική επαναφορά της από τη θέση

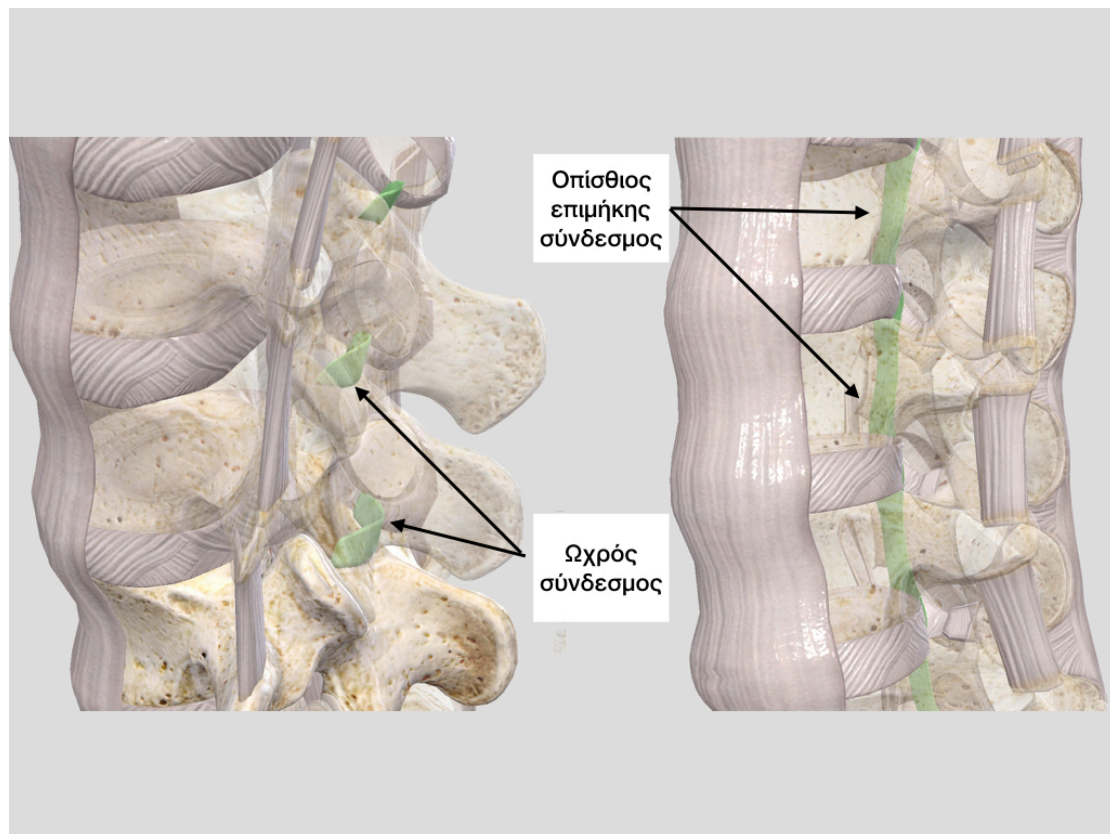
κάμψης. Επίσης, συνενώνονται με το πρόσθιο τμήμα του αρθρικού θυλάκου των ζυγοαποφυσιικών αρθρώσεων ενισχύοντας τη σταθερότητά τους και αποτρέποντας την εξάρθρωσή τους.

Ο επακάνθιος σύνδεσμος συνδέει τις κορυφές των ακανθωδών αποφύσεων από τον Α7 έως το ιερό οστό. Στην αυχενική μοίρα αποτελεί το οπίσθιο χείλος του αυχενικού συνδέσμου. Προς τα εμπρός συνάπτεται με τους μεσακάνθιους συνδέσμους. Οι εν τω βάθει ίνες του συνδέουν γειτονικές αποφύσεις, ενώ οι επιφανειακές εκτείνονται σε μήκος 3 ή και περισσότερων σπονδύλων. Αντίσταται στην υπερβολική κάμψη της σπονδυλικής στήλης και βοηθά στην επαναφορά της στην όρθια θέση. Αποτελεί επίσης υποδόριο προστατευτικό στρώμα για την οπίσθια επιφάνεια των ακανθωδών αποφύσεων.

Οι μεσακάνθιοι σύνδεσμοι είναι βραχέα ινώδη πέταλα που φέρονται από το κάτω χείλος της υπερκείμενης ακανθώδους απόφυσης ως το άνω χείλος την υποκείμενης ακανθώδους απόφυσης. Το οπίσθιο χείλος τους συνάπτεται με τον επακάνθιο σύνδεσμο και το πρόσθιο χείλος τους με τους ωχρούς συνδέσμους. Οι μεσεγκάρσιοι σύνδεσμοι ενώνουν τις κορυφές των εγκάρσιων αποφύσεων δύο γειτονικών σπονδύλων. Περιορίζουν τις πλάγιες κινήσεις και τις κινήσεις ταλάντευσης ενός σπονδύλου πάνω στον άλλο [1,3].



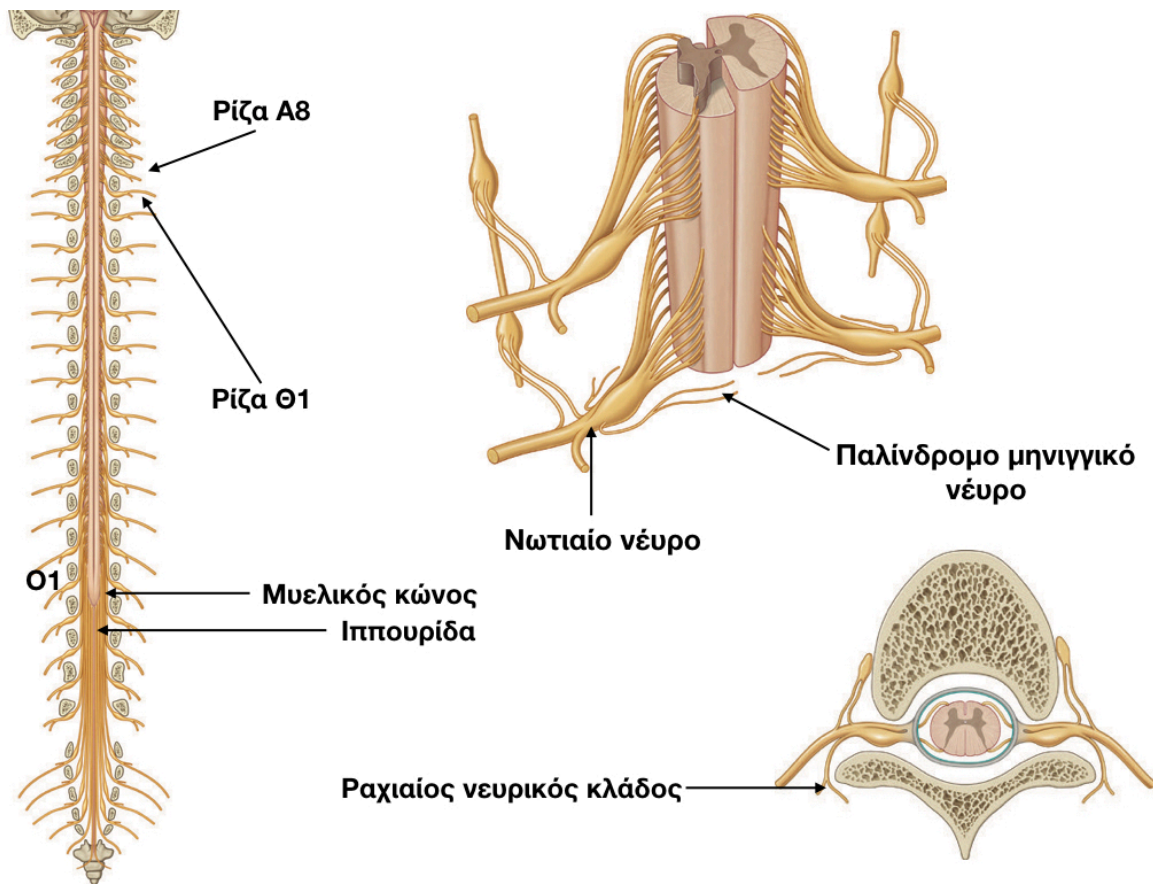
Εικόνα 3 Σχηματική απεικόνιση των συνδέσμων της σπονδυλικής στήλης στην οσφυϊκή μοίρα



Εικόνα 4 Σχηματική απεικόνιση ωχρού και οπίσθιου επιμήκους συνδέσμου συνδέσμου (με πράσινο) στην οσφυϊκή μοίρα

1.3 Ο νωτιαίος μυελός

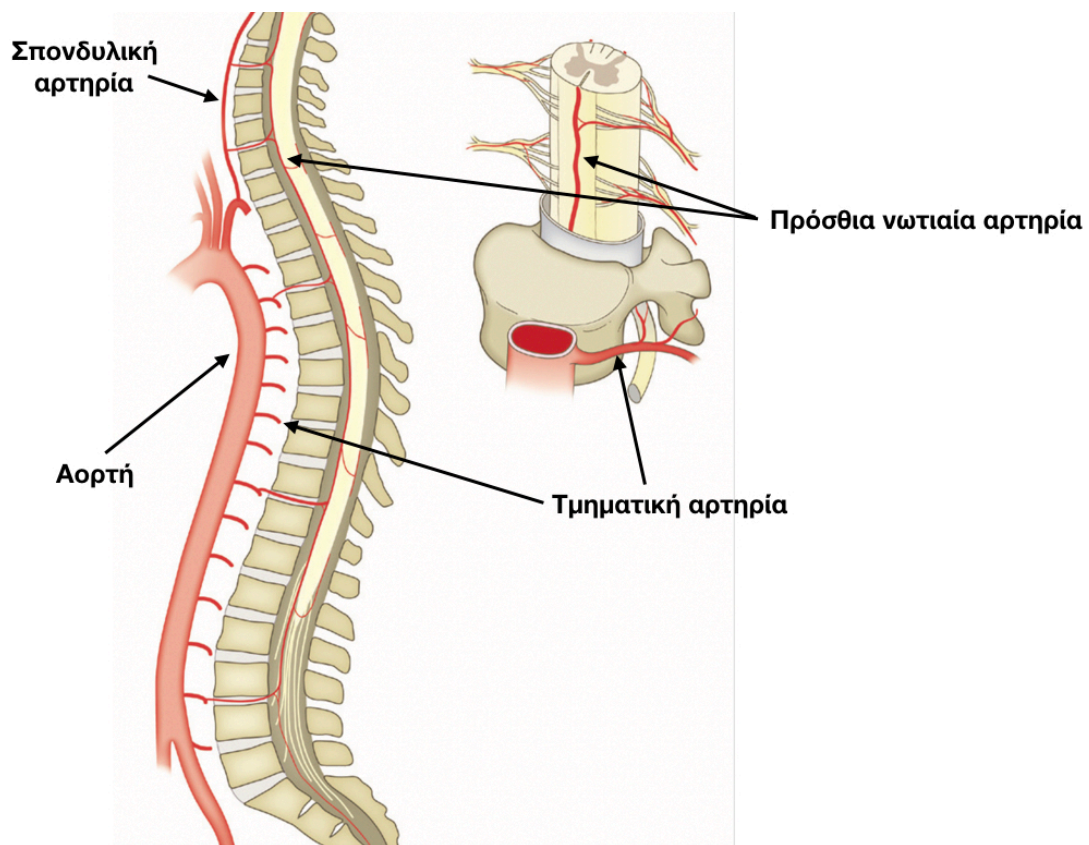
Ο νωτιαίος μυελός εδράζεται και προστατεύεται στο σπονδυλικό τμήμα και εκτείνεται από τη βάση του κρανίου έως το κάτω όριο του Ο1 σπονδύλου, όπου καταλήγει ως μυελικός κώνος. Οι τελικές νευρικές ρίζες περιβαλλόμενες από μηνιγγικό σάκο σχηματίζουν την ιππουρίδα και τερματίζουν στον κόκκυγα. Υπάρχουν 31 ζεύγη νωτιαίων ριζών: 8 αυχενικές, 12 θωρακικές, 5 οσφυϊκές, 5 ιερές και 1 κοκκυγική. Στον υπαραχνοειδή χώρο, η πρόσθια και η οπίσθια ρίζα και τα γάγγλια συνενώνονται και σχηματίζουν το νωτιαίο νεύρο. Μετά την έξοδο από τα μεσοσπονδύλια τρήματα, οι ρίζες χορηγούν ραχιαίους κλάδους που νευρώνουν τους μυς και το δέρμα του αυχένα και της ράχης. Το σπονδυλικό σώμα, οι μήνιγγες και οι θύλακοι των αρθρώσεων λαμβάνουν τη νευρώση τους από το κολποσπονδυλικό (ή παλίνδρομο μηνιγγικό) νεύρο (εικόνα 5) [1].



Εικόνα 4 Σχηματική απεικόνιση μυελικού κώνου, νευρικών ριζών, νωτιαίου νεύρου και παλίνδρομου μηνιγγικού νεύρου.

1.4 Αιμάτωση

Η αιμάτωση της σπονδυλικής στήλης προέρχεται από τμηματικές αρτηρίες που εκφύονται από κλάδους της αορτής. Οι ραχιαίοι κλάδοι αρδεύουν τις μήνιγγες και τα οπίσθια σπονδυλικά στοιχεία, ενώ οι κοιλιακοί κλάδοι αιματώνουν τα σπονδυλικά σώματα. Η σπονδυλική αρτηρία συνεισφέρει και αυτή τμηματικούς κλάδους πριν καταλήξει στη βασική αρτηρία. Η αιμάτωση του νωτιαίου μυελού γίνεται από την πρόσθια και οπίσθια νωτιαία αρτηρία και από τμηματικούς κλάδους της σπονδυλικής αρτηρίας και των ραχιαίων αρτηριών (εικόνα 6). Η φλεβική παροχέτευση γίνεται από φλεβόκολπους στην οπίσθια επιφάνεια κάθε σπονδυλικού σώματος [1-3].



Εικόνα 5 Σχηματική απεικόνιση αρτηριακού δικτύου σπονδυλικής στήλης.

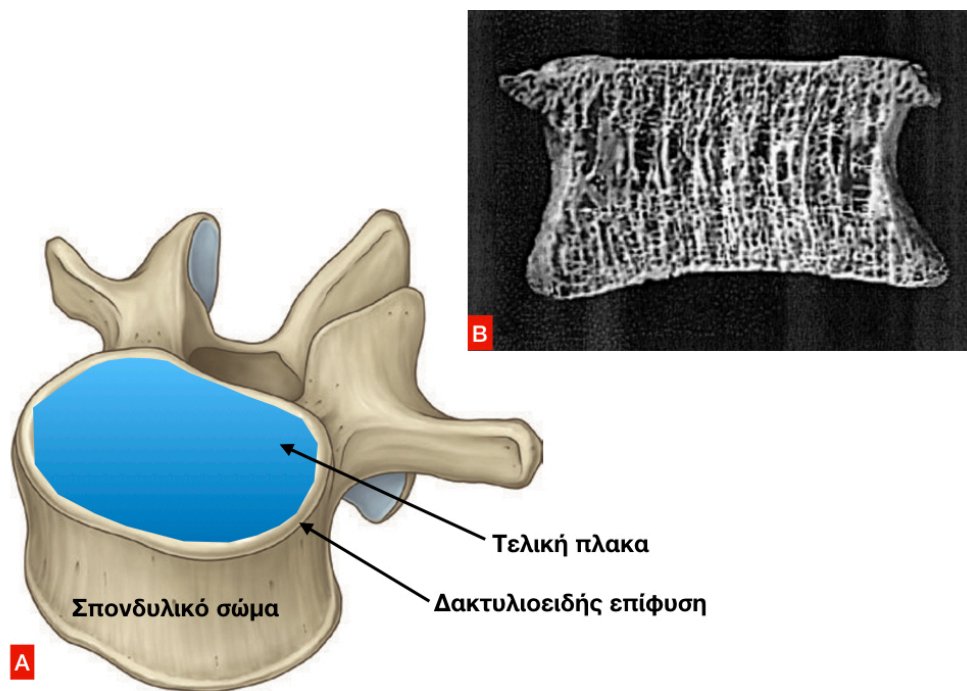
2. Το μεσοσπονδύλιο διάστημα

Το μεσοσπονδύλιο διάστημα ουσιαστικά αποτελείται από το μεσοσπονδύλιο δίσκο και την άνω και κάτω τελική πλάκα ανάμεσα σε δύο σπονδυλικά σώματα.

2.1 Το σπονδυλικό σώμα

Το σπονδυλικό σώμα έχει σχήμα σχεδόν κυλινδρικό. Η πρόσθια επιφάνεια του είναι σαφώς κυρτή, ενώ η οπίσθια επιφάνεια του εμφανίζει ήπια κοίλανση, στοιχείο με ακτινολογική σημασία. Το ύψος και το πλάτος των σπονδυλικών σωμάτων αυξάνει κεφαλοουραία, ακολουθώντας την αύξηση των ασκούμενων φορτίων. Αποτελείται από σπογγώδες οστό, το οποίο στην περιφέρεια του γίνεται πιο πυκνό για να σχηματίσει ένα λεπτό εξωτερικό στρώμα. Το εξωτερικό στρώμα δε φέρει ιστολογικά χαρακτηριστικά φλοιώδους οστού, αλλά ομοιάζει περισσότερο με μια πεπαχυσμένη δοκιδωτή μεμβράνη [4]. Υπό φυσιολογικές συνθήκες το εξωτερικό αυτό στρώμα είναι υπεύθυνο για λιγότερο από 25% της συνολικής μηχανικής αντοχής του σπονδύλου, ποσοστό που μπορεί όμως να φθάσει το 50% σε οστεοπορωτικές καταστάσεις. Δηλαδή τα συμπιεστικά φορτία στο κέντρο του σπονδυλικού σώματος εξαρτώνται πολύ περισσότερο από την ακεραιότητα της μικροαρχιτεκτονικής του σπογγώδους οστού και της εφαρμοζόμενης πίεσης επί της τελικής πλάκας [5]. Η περιφέρεια της άνω και κάτω επιφάνεια του σώματος είναι υπεργερμένη και ονομάζεται δακτυλιοειδής επίφυση. Η υπόλοιπη επιφάνεια καλύπτεται από λεπτό στρώμα υαλοειδούς χόνδρου, την τελική πλάκα (εικόνα 7).

Το σπογγώδες οστό του σπονδύλου αποτελείται από διαπλεκόμενες δοκίδες, η αρχιτεκτονική των οποίων ακολουθεί συγκεκριμένες δυναμικές γραμμές για την ισχυροποίηση της δομής του σπονδύλου, σχηματίζοντας πλέγμα από κάθετες, οριζόντιες και λοξές δοκίδες. Στο οπίσθιο τμήμα του σώματος, οι δοκίδες αυτές είναι μεγαλύτερες και πιο πυκνά οργανωμένες. Το κεντρικό και πρόσθιο τμήμα δεν ενισχύεται από λοξές δοκίδες, οι δοκίδες είναι λεπτότερες και έχουν πιο ακανόνιστη δομή, με αποτέλεσμα να θεωρούνται περιοχές μειωμένης μηχανικής αντοχής (εικόνα 7).



Εικόνα 6 Α) Σχηματική απεικόνιση σπονδυλικού σώματος, τελικής πλάκας και δακτυλιοειδούς επίφυσης. Β) Απεικόνιση διάταξης φυσιολογικών οστικών δοκίδων σώματος σε διατομή.

2.2 Ο μεσοσπονδύλιος δίσκος

Ο μεσοσπονδύλιος δίσκος (ΜΔ) αποτελεί μια ινοχόνδρινη ελαστική δομή μεταξύ των σπονδυλικών σωμάτων από τον Α2 σπόνδυλο έως και τον ΙΙ, με στηρικτική και αντικραδασμική λειτουργία. Αποτελείται από δύο κύρια μέρη, κεντρικά τον πηκτοειδή πυρήνα και περιφερικά τον ινώδη δακτύλιο, μέρη τα οποία συνεργάζονται για ένα ομοιόμορφο αποτέλεσμα παρά τις διαφορές τους σε κυτταρική σύσταση και μηχανικές ιδιότητες. Ο πηκτοειδής πυρήνας απορροφά και κατανέμει τα κατακόρυφα συμπιεστικά μηχανικά φορτία, ενώ ο ινώδης δακτύλιος συγκρατεί τις ασκούμενες συγκεντρικές πιέσεις εντός του δίσκου. Κάθε δίσκος ενώνεται κι επικοινωνεί με το άνωθεν και κάτωθεν σπονδυλικό σώμα μέσω μιας λεπτής δομής υαλοειδούς χόνδρου, την τελική πλάκα, η οποία είναι υπεύθυνη για την κεφαλοουραία ανάπτυξη της σπονδυλικής στήλης. Το εύρος και το πάχος των ΜΔ ακολουθεί αυτό των σπονδυλικών σωμάτων και αυξάνει κεφαλοουραία [1-3].

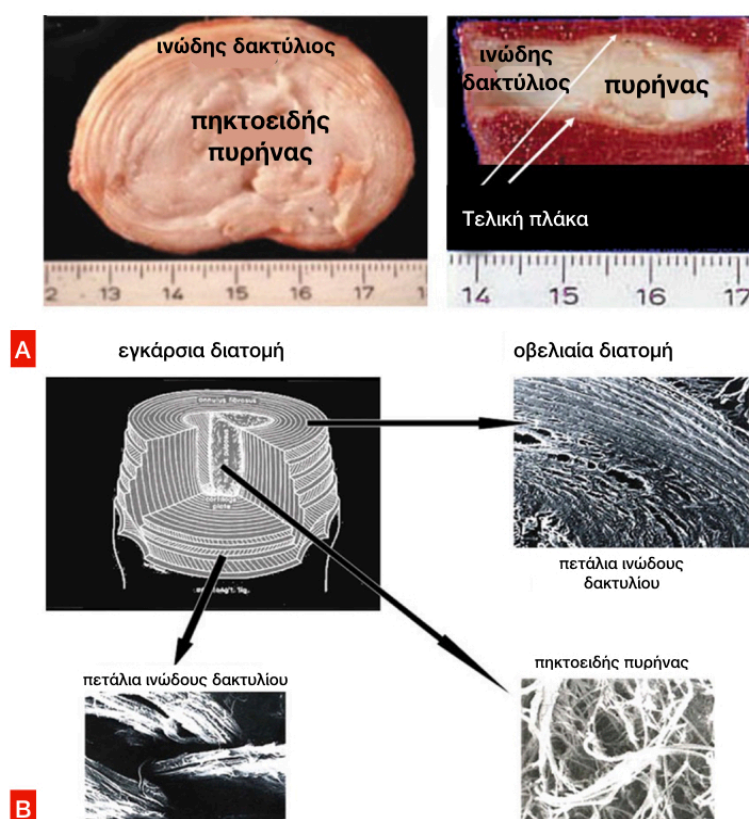
Σε ότι αφορά τη **σύσταση** του δίσκου στους ενήλικες, αυτός συνίσταται από ένα μεγάλο ποσοστό εξωκυττάριου στρώματος (γνωστό και ως θεμέλια ουσία/matrix) που εμπλουτίζεται από ένα μικρό αριθμό κυττάρων (<1% του συνολικού όγκου). Ο ρόλος των λιγοστών αυτών κυττάρων είναι ιδιαίτερα κρίσιμης σημασίας καθότι παράγουν μακρομόρια όπως οι πρωτεογλυκάνες, καθώς και τις πρωτεάσες και τους αναστολείς

τους που μπορούν να καταβολίσουν κάθε συστατικό της θεμέλιας ουσίας. Ο κυτταρικός αυτός πληθυσμός μάλιστα δεν είναι απολύτως υγιής και ακόμα σε νεαρούς ενήλικους ο πληθυσμός των νεκρών κυττάρων φτάνει στο 50-70% του συνόλου των κυττάρων. Ο θάνατος των κυττάρων γίνεται με τη φυσιολογική διαδικασία θανάτου αλλά και με τη διαδικασία της απόπτωσης ως απόκριση σε συγκεκριμένη φόρτιση. Η μορφολογία και η λειτουργία του δίσκου εξαρτάται ολοκληρωτικά από την οργάνωση και τις ιδιότητες του εξωκυττάριου στρώματος. Η λειτουργία αυτού του στρώματος συνίσταται στον εμπλουτισμό του ιστού με τις απαραίτητες εμβιομηχανικές ιδιότητες και στη δράση του ως εκλεκτικού «φίλτρου», ρυθμίζοντας τη σύσταση του εξωκυττάριου υγρού και το ρυθμό ανταλλαγής θρεπτικών συστατικών, μεταβολιτών και άλλων μοριακών σημάτων μεταξύ των κυττάρων του δίσκου και των υπόλοιπων ιστών του σώματος. Η σύσταση του πηκτοειδούς πυρήνα διαφέρει ανάλογα με το επίπεδο του μεσοσπονδύλιου διαστήματος και κατά συνέπεια ανάλογα με τις λειτουργικές ανάγκες. Η ποσότητα του κολλαγόνου μειώνεται από την αυχενική προς την οσφυϊκή μοίρα, ενώ το αντίθετο συμβαίνει με την ποσότητα των πρωτεογλυκανών. Η βιοχημική ανάλυση του δίσκου δείχνει μια μοριακή σύσταση από πρωτεογλυκάνες, νερό, ελαστικές ίνες και κολλαγόνο.

Οι πρωτεογλυκάνες καθορίζουν τη λειτουργική υπόσταση του δίσκου και συνίστανται από σάκχαρα και πρωτεΐνες. Απαρτίζονται από μονομερή και πολυμερή που προέρχονται από συναθροίσεις μονομερών με τη βοήθεια συνδετικών πρωτεϊνών που τα προσδένουν σε μία μεγάλη αλυσίδα υαλουρονικού οξέος σε στερεά διάταξη (δίκην βούρτσας) (εικόνα 9). Έτσι σχηματίζεται ένα υπερμόριο με πολλά αρνητικά φορτία και ηλεκτρο-οσμωτικές ιδιότητες συγκράτησης νερού. Η δέσμευση και η αποδέσμευση του νερού γίνεται από τις πρωτεογλυκάνες που υπάρχουν στη θεμέλια ουσία και αποτελούν υπό τη μορφή συμπλόκων το 20-30% του πηκτοειδούς πυρήνα και το 60% του ινώδους δακτυλίου. Οι πρωτεογλυκάνες λειτουργούν σε συνεργασία με το δίκτυο των κολλαγόνων και ελαστικών ινών, που συμπιέζουν και αποσυμπιέζουν αντίστοιχα τις πρωτεογλυκάνες, μεταβάλλοντας έτσι το σχήμα του δίσκου.

Οι ελαστικές ίνες συνίστανται από ινίδια ελαστίνης και μικροϊνίδια και αποτελούν περίπου το 10% του matrix του ενήλικου δίσκου. Στον πηκτοειδή πυρήνα οι ελαστικές ίνες είναι επιμήκεις, ευθείες και οι περισσότερες προσανατολισμένες ακτινωτά. Αντιτάσσονται στις δυνάμεις τάσης όταν η φόρτιση μετατοπίζεται από τον πυρήνα στον ινώδη δακτύλιο και στην αποφόρτιση συμβάλλουν στον επαναφορά του αρχικού σχήματος του δίσκου. Στον ινώδη δακτύλιο οι ελαστικές ίνες είναι πιο πυκνά και ακανόνιστα κατανεμημένες στο χώρο μεταξύ των πεταλίων ενώ μέσα στα πετάλια προσανατολίζονται παράλληλα στις κολλαγόνες ίνες. Στο έξω τμήμα του ινώδους δακτυλίου υπάρχουν πυκνές διασταυρούμενες γεφυρώσεις ανάμεσα στα πετάλια. Στην περιοχή του δίσκου που συνδέεται με τις τελικές πλάκες, υπάρχουν επιμήκεις ευθείες ελαστικές ίνες που εισδύουν λοξά μέσα στην τελική πλάκα.

Το κολλαγόνο αποτελεί ένα κύριο συστατικό του δίσκου αποτελώντας το 50-70% του ξηρού βάρους του ινώδους δακτυλίου και το 15-20% του πηκτοειδούς πυρήνα. Οι ίνες κολλαγόνου προσφέρουν ένα ισχυρό αλλά και ελαστικό δίκτυο για τη στήριξη των κυττάρων του δίσκου. Από τους 28 τύπους κολλαγόνου, 9 είναι παρόντες στον ώριμο ενήλικο δίσκο (I, II, III, V, VI, IX, XI, XII και XIV). Οι τύποι I και II είναι οι πιο άφθονοι αποτελώντας μαζί το 80% τις συνολικής ποσότητας κολλαγόνου στο δίσκο του ενήλικα. Ο τύπος I είναι πιο άφθονος στην έξω ζώνη και στα πιο έξω πετάλια της έσω ζώνης του ινώδους δακτυλίου. Η έσω ζώνη του ινώδους δακτυλίου και ο πυρήνας περιέχουν κολλαγόνο τύπου I και II. Εκτός από υποστηρικτική δομή των κυττάρων, διατηρούν τα ενυδατωμένα πρωτεογλυκανικά aggregates περιορισμένα μέσα στο δίκτυο τους (εικόνα 8)[6,7].

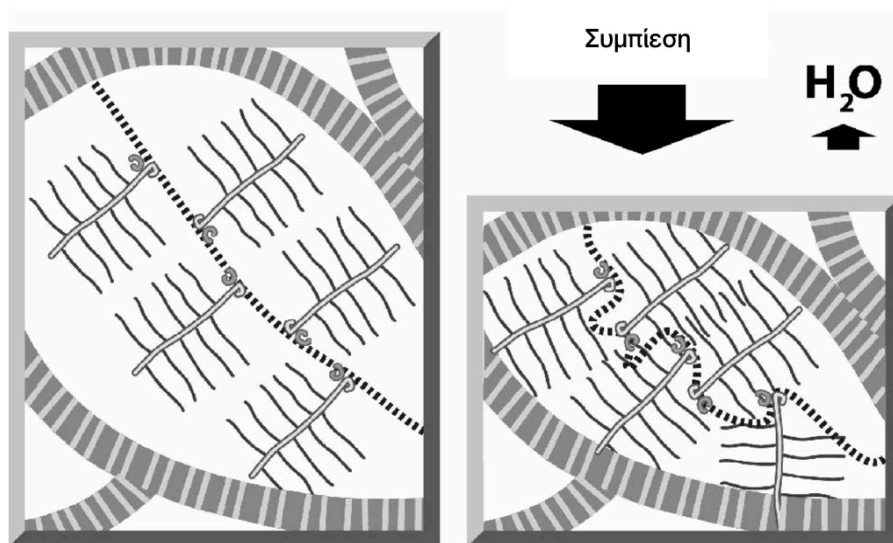


Εικόνα 7 Α) εγκάρσια και οβελιαία διατομή μη εκφυλισμένου δίσκου ενήλικα, φαίνονται ο ενυδατωμένος πηκτοειδής πυρήνας, τα πετάλια του ινώδους δακτυλίου και η τελική πλάκα Β) σχηματική απεικόνιση του τρισδιάστατου δικτύου κολλαγόνων ινών στον πηκτοειδή πυρήνα και τον ιώδη δακτύλιο, με λεπτομέρειες από ηλεκτρονικό μικροσκόπιο.

Ο πηκτοειδής πυρήνας είναι μια υδάτινη (περίπου 80% περιεκτικότητα σε νερό) ζελατινώδης δομή που βρίσκεται στο κέντρο και προς την οπίσθια επιφάνεια του δίσκου και κατά την κεφαλοουραία πορεία φτάνει να αποτελεί το 30-50% του δίσκου

στην οσφυϊκή μοίρα της ΣΣ στο οβελιαίο επίπεδο. Συνιστάται από ίνες κολλαγόνου κυρίως τύπου II, νερό και πρωτεογλυκάνες. Η υδατική του περιεκτικότητα μεταβάλλεται από περίπου 90% του συνολικού του όγκου κατά τον πρώτο χρόνο ζωής σε περίπου 74% κατά τον ογδοηκοστό. Το μεγαλύτερο ποσό του νερού βρίσκεται εξωκυττάρια στη θεμέλια ουσία συνδεδεμένο με τις πρωτεογλυκάνες και το κολλαγόνο. Τα στερεά στοιχεία του πηκτοειδούς πυρήνα είναι κατά 65% πρωτεογλυκάνες, 17% κολλαγόνο και ένα μικρό ποσοστό ελαστικών ινών. Οι ίνες κολλαγόνου είναι ατάκτως κατανεμημένες, ενώ οι ελαστικές ίνες κατανέμονται ακτινωτά. Τα κύτταρα που υπάρχουν μέσα στη θεμέλια ουσία παράγουν τα μόρια των πρωτεογλυκανών και ομοιάζουν με χονδροκύτταρα. Τα κύτταρα του πυρήνα αρχικά προέρχονται εμβρυολογικά από τη νωτιαία χορδή, κατά την παιδική ηλικία όμως (1^η δεκαετία της ζωής) υπάρχει επικράτηση πληθυσμού κυττάρων που ομοιάζουν με χονδροκύτταρα, τα οποία συνθέτουν κολλαγόνο τύπου I και μικρότερη ποσότητα πρωτεογλυκανών, με αποτέλεσμα να επηρεάζεται η δυνατότητα του πυρήνα να διατηρήσει τη δομή και προηγούμενη σύνθεση του [8].

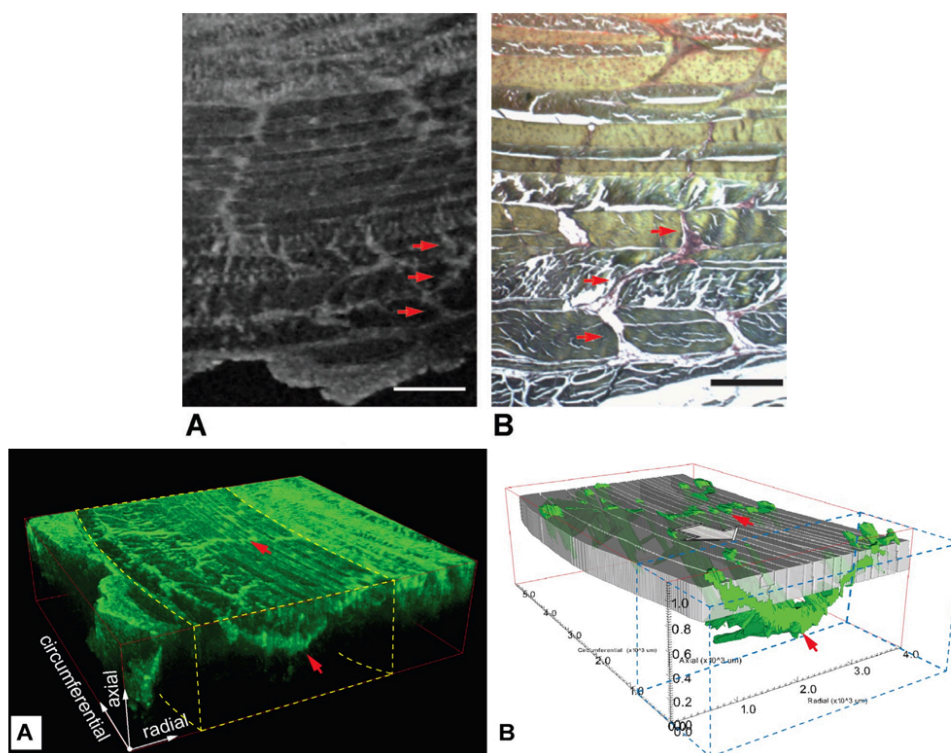
Η περιφερική περιοχή του πηκτοειδούς πυρήνα και μικρό τμήμα των πεταλίων του έσω τμήματος του ινώδους δακτυλίου ονομάζεται μεταβατική ζώνη I και πιστεύεται ότι παριστά το αναπτυξιακό πέταλο του πηκτοειδούς πυρήνα. Η ζώνη αυτή είναι ευαίσθητη σε φυσικές, χημικές και ορμονικές μεταβολές κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης. Το υλικό του φυσιολογικού πηκτοειδούς πυρήνα είναι ασυμπίεστο με αποτέλεσμα να διανέμει τις ασκούμενες πιέσεις ομαλά με φυγόκεντρο τρόπο προς τον ινώδη δακτύλιο και τις χόνδρινες τελικές πλάκες, δομές αρκετά ισχυρές ώστε να ανθίστανται σε μετατόπιση του υλικού του πυρήνα. Ο πυρήνας ανθίσταται σε δυνάμεις συμπίεσης χάρη στην υψηλή περιεκτικότητά του σε νερό, τις οσμωτικές του ιδιότητες και την περιορισμένη διαπερατότητα του. Οι πρωτεογλυκάνες που παράγονται από τα κύτταρα του πυρήνα, συγκεκριμένα οι aggrecans, έχουν υψηλό αρνητικό φορτίο που εξισορροπείται από τα κατιόντα του διάμεσου υγρού. Αυτή η υψηλή συγκέντρωση κατιόντων δίνει στο δίσκο ένα οσμωτικό «πλεονέκτημα» σε σχέση με το εξωτερικό του περιβάλλον κι έτσι τη δυνατότητα να επαναρροφά και να δεσμεύει νερό (εικόνα 8) [9,10].



Εικόνα 8 Ο ρόλος του aggrecan και του κολλαγόνου στην ικανότητα του πυρήνα να ανθίσταται στις δυνάμεις συμπίεσης. Ο πυρήνας απεικονίζεται να περιέχει σύμπλοκα πρωτεογλυκανών περιβρογχισμένα σε δίκτυο κολλαγόνων ινών. Τα σύμπλοκα απεικονίζονται σαν ένα κεντρικό μόριο υαλουρονικού (στικτή γραμμή) που συμπληρώνεται με μόρια aggrecan που περιέχουν μια κεντρική πρωτεΐνη (ανοικτή γραμμή) με πλευρικές αλυσίδες γλυκοζαμινογλυκανών. Οι ιδιότητες ενυδάτωσης των αλυσών αυτών προκαλούν τη διόγκωση του ιστού μέχρι την επίτευξη σημείου ισορροπίας, στο οποίο η τάση διόγκωσης εξισορροπείται από τις δυνάμεις τάσης του δικτύου κολλαγόνων ινών. Οι δυνάμεις συμπίεσης εξωθούν νερό έξω από το δίσκο, αυξάνοντας πρακτικά τη συγκέντρωση του aggrecan και άρα και το δυναμικό του πυρήνα για ενυδάτωση, εμποδίζοντας την περαιτέρω συμπίεση.

Ο ινώδης δακτύλιος αποτελείται από συγκεντρικά στρώματα δεσμίδων ινών κολλαγόνου μπλεγμένα με ελικοειδή τρόπο και χωρίζεται σε έσω και έξω τμήμα. Οι ίνες στο έσω ένα τρίτο του δακτυλίου διασυνδέονται με τις τελικές πλάκες, ενώ οι ίνες στο έξω τμήμα του δακτυλίου δεσμεύονται στερεά στην δακτυλιοειδή απόφυση των σπονδυλικών σωμάτων. Οι ίνες κολλαγόνου της περιφέρειας του ινώδους δακτυλίου είναι τύπου I και σταδιακά μεταβάλλονται σε ένα μίγμα ινών 40% τύπου I και 60% τύπου II καθώς προχωράμε προς το έσω τμήμα του, ενώ ταυτόχρονα αυξάνεται και η συγκέντρωση πρωτεογλυκανών. Οι ίνες διατάσσονται σε ομόκεντρα πετάλια περίξ του πυρήνα και οργανώνονται μ' έναν εναλλασσόμενο τρόπο. Πιο συγκεκριμένα, οι ίνες προσανατολίζονται σε γωνία 30^0 ως προς το οριζόντιο επίπεδο και σε γωνία περίπου 120^0 μεταξύ τους σε 2 διαδοχικά πετάλια. Υπάρχει μια σημαντική αύξηση του πάχους των πεταλίων προοδευτικά από την περιφέρεια προς το κέντρο του δίσκου. Ο ιστός περίξ των κολλαγόνων ινών και μεταξύ των πεταλίων είναι κυρίως πρωτεογλυκάνες και λίγες ίνες ελαστίνης. Οι ίνες ελαστίνης έχουν υποβοηθητικό ρόλο στην επαναφορά του σχήματος των πεταλίων ύστερα από την εφαρμογή δυνάμεων παραμόρφωσης και στον περιορισμό των ολισθήσεων μεταξύ παρακείμενων πεταλίων.

Σε τρισδιάστατη απεικόνιση, ο ινώδης δακτύλιος δεν αποτελείται απλώς από ομόκεντρα συμμετρικά τοποθετημένα πετάλια, αλλά κατέχει μια πιο πολύπλοκη δομή προκειμένου να εξυπηρετήσει τη λειτουργία του. Πέρα από την ύπαρξη μη πλήρων πεταλίων (με διακοπή της συνέχειας τους δηλαδή), με την πρόοδο τεχνικών υπερήχων, ηλεκτρονικών μικροσκοπίων και χρωστικών ουσιών, έχει παρατηρηθεί ένα δίκτυο κολλαγόνων ινιδίων που γεφυρώνουν διαφορετικά πετάλια μεταξύ τους καθώς και τα ατελή πετάλια με άλλα πετάλια, πλήρη ή μη. Το δίκτυο αυτό ονομάζεται **διαπεταλιακό δίκτυο γεφύρωσης** και πιστεύεται ότι προέρχεται από την ατροφία και μεταβολή τροφικών αγγείων που σχηματίστηκαν κατά τα στάδια εμβρυικής ανάπτυξης. Δεν πρόκειται για διακριτά, ευθύγραμμα ινίδια, αλλά για σύμπλοκες δομές ινιδίων με πολύπλοκα σχήματα στο χώρο, που διαπερνούν όλο τον ιστό (εικόνα 10). Τα ινίδια κολλαγόνου συνδέουν ίνες κολλαγόνου που συνδέουν δύο γειτονικά πετάλια στο ίδιο ή σε διαφορετικό επίπεδο και ίνες κολλαγόνου που συνδέουν πολλά πετάλια μεταξύ τους. Ο ρολος αυτών των διαπεταλιακών συνδέσεων δεν είναι πλήρως αποσαφηνισμένος. Κατά την εφαρμογή παραμορφωτικών δυνάμεων στο μεσοσπονδύλιο δίσκο, έχει μετρηθεί πως αυτές οι δια- και υπερ-πεταλιακές συνδέσεις δέχονται μεγαλύτερα φορτία δυνάμεων σε σχέση με τη θεμέλια ουσία. Παρ'όλα αυτά, καθώς ο όγκος τους υπολογίζεται μικρός σε σχέση με το σύνολο του δίσκου, εικάζεται ότι ο ρόλος τους στη μηχανική αντοχή του μεσοσπονδυλίου δίσκου είναι μικρός, αλλά ότι ουσιαστικότερη είναι η συνδρομή τους στη ρύθμιση σε μικρομηχανικό επίπεδο της κυτταρικής επικοινωνίας και λειτουργίας. Μία άλλη υπόθεση σε ότι αφορά τη λειτουργική προσφορά του διαπεταλιακού δικτύου γεφύρωσης, είναι ότι πρόκειται για μηχανισμό προσαρμογής στην καταπόνηση της περιφέρειας του ινώδους δακτυλίου. Με την παροδο των ετών και τη γήρανση του πηκτοειδούς πυρήνα και του δίσκου φαίνεται να εξαπλώνεται το δίκτυο αυτό, και θα μπορούσε κανείς να υποθέσει ότι θυσιάζεται η ελαστικότητα του ινώδους δακτυλίου για την καλύτερη συγκράτηση των πεταλίων μεταξύ τους [11,12].

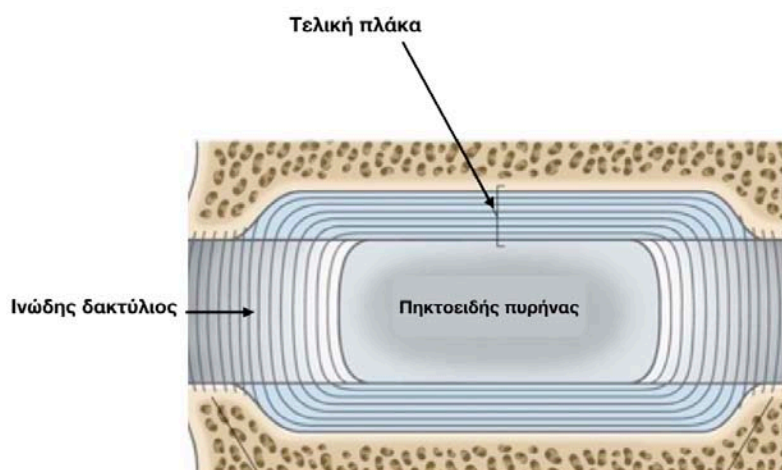


Εικόνα 9 Α,Β) Το διαπεταλιακό δίκτυο γεφύρωσης (κόκκινα βέλη) μέσα στο matrix των πεταλίων του ινώδους δακτυλίου.

Η λειτουργία του ινώδους δακτυλίου είναι να βοηθήσει τον πηκτοειδή πυρήνα να δεχτεί την αξονική φόρτιση του βάρους του σώματος αναπτύσσοντας κυκλοτερείς δυνάμεις τάσεως δίκην στεφάνης. Απαραίτητη προϋπόθεση είναι να διατηρήσει το σχήμα των πεταλίων και αυτό επιτυγχάνεται με την αύξηση της υδροστατικής πίεσης που ασκείται από τον πυρήνα προς τα πετάλια ωθώντας τα προς την περιφέρεια, ενώ όταν η πίεση αυτή υποχωρεί, τότε τα πετάλια αποκλίνουν προς το κέντρο του δίσκου. Στις εγκάρσιες συμπιεστικές δυνάμεις ανθίσταται και το έσω τμήμα του ινώδους δακτυλίου. Εκσεσημασμένες συμπιεστικές δυνάμεις οδηγούν σε ανεπάρκεια και ρήξη των πεταλίων του ινώδους δακτυλίου. Ο αριθμός των πεταλίων είναι μικρότερος μπροστά και μεγαλύτερος οπισθοπλάγια, ενώ το πάχος των πεταλίων είναι μειωμένο στο οπίσθιο τμήμα του δίσκου. Το τρισδιάστατο σχήμα των ινών στον ιώδη δακτύλιο ομοιάζει με doughnut (ευρύ μπροστά και λεπτό πίσω). Αυτό εξηγεί γιατί το οπίσθιο τμήμα του ινώδους δακτυλίου είναι πιο ασθενές από το πρόσθιο και συμβαδίζει με το γεγονός ότι η οπίσθια προβολή δισκικού υλικού είναι δυο φορές πιο συχνή από την πρόσθια. Τα πιο περιφερικά πετάλια εκτείνονται πάνω από τα χείλη του σπονδυλικού σώματος και προσφύονται στο σώμα και ο αριθμός τους είναι μικρότερος πίσω και μέγιστος οπισθοπλάγια. Οι παρατηρήσεις αυτές καθιστούν το οπίσθιο τμήμα του δίσκου το πιο ευένδοτο σημείο του [6].

2.3 Η τελική πλάκα

Η τελική πλάκα αποτελεί υαλοειδή χόνδρο πάχους 0.6-0.75mm και είναι λεπτότερη κεντρικά (στην περιοχή του πηκτοειδούς πυρήνα) και παχύτερη περιφερικά. Η χόνδρινη τελική πλάκα συνιστάται από υαλοειδή χόνδρο στο σημείο επαφής με το σπονδυλικό σώμα και ινώδη χόνδρο προς την πλευρά του πηκτοειδούς πυρήνα. Δημιουργεί φραγμό στη διείσδυση δισκικού υλικού στο πορώδες σπονδυλικό σώμα και βοηθά στην κατανομή των φορτίων. Κολλαγόνες ίνες από το έσω τμήμα του ινώδους δακτυλίου εισέρχονται στην πλάκα και αλλάζουν κατεύθυνση προς το κέντρο περιβάλλοντας πλήρως τον πηκτοειδή πυρήνα. Η πλάκα κατά συνέπεια δεν προσκολλάται στο σπόνδυλο αλλά περισσότερο διαπλέκεται με το περιφερικό τμήμα του ινώδους δακτυλίου και γι' αυτό θεωρείται μέρος του δίσκου κι όχι του σπονδύλου (εικόνα 11).

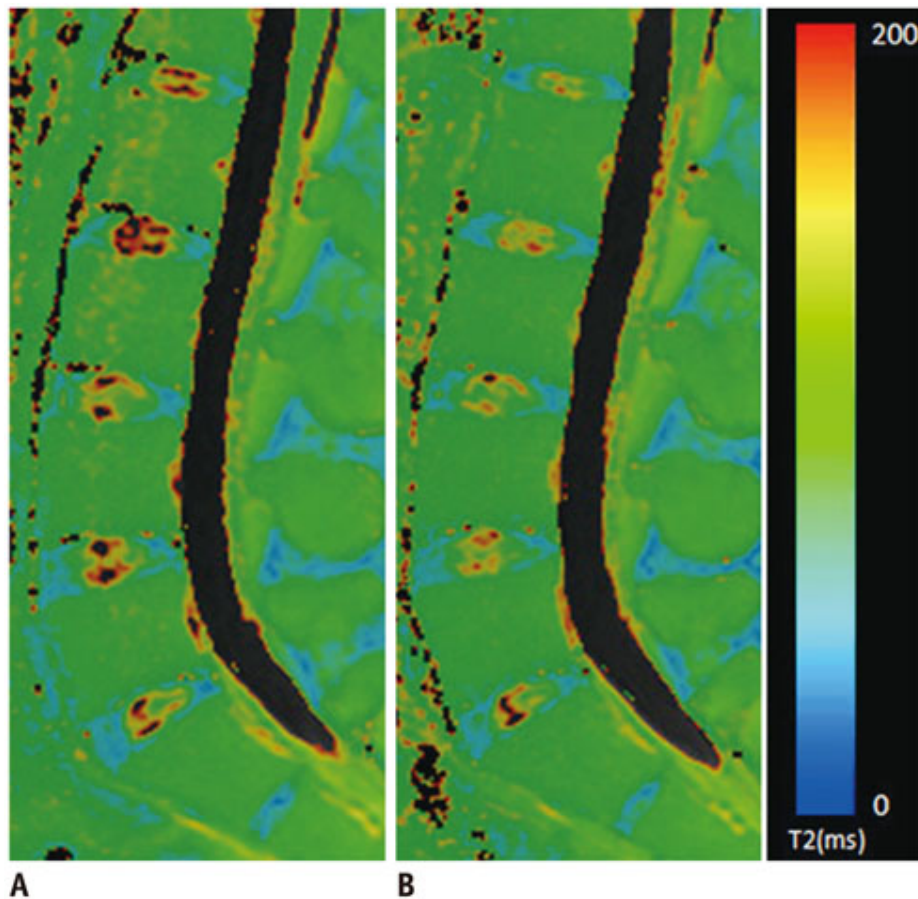


Εικόνα 10 Σχηματική οβελιαία διατομή μεσοσπονδυλίου διαστήματος, απεικόνιση της τελικής πλάκας, του πηκτοειδούς πυρήνα και του ινώδους δακτυλίου.

Η εν τω βάθει επιφάνεια της περιέχει επασβεστωμένο χόνδρο κάτω από τον οποίο υπάρχει ένα υποχόνδρινο οστικό πέταλο. Η κατανομή του επασβεστωμένου υποχόνδρινου οστίτη οστού αντικατοπτρίζει την μακροχρόνια κατανομή των φορτίων πάνω σε μια αρθρική επιφάνεια. Οι τελικές πλάκες υπόκεινται συνεχώς στην επίδραση της υδροστατικής πίεσης που αναπτύσσεται από τον πηκτοειδή πυρήνα. Έχει ανακαλυφθεί ότι το πάχος του κεντρικού τμήματος της τελικής πλάκας συσχετίζεται με την περιεκτικότητα σε πρωτεογλυκάνες και νερό του δίσκου [13]. Επομένως, σε δίσκους με υψηλή υδροστατική πίεση υπάρχει μια ανάλογη αύξηση στο πάχος της τελικής πλάκας. Παίζει σημαντικό ρόλο στην άμβλυνση της πίεσης που δέχεται ο δίσκος. Η τελική πλάκα επιτελεί το ρόλο της επιφυσιακής πλάκας για το δίσκο, με αποτέλεσμα να είναι παχύτερη στα παιδιά [14].

2.4 Εμβιομηχανική, θρέψη και νεύρωση του μεσοσπονδυλίου διαστήματος

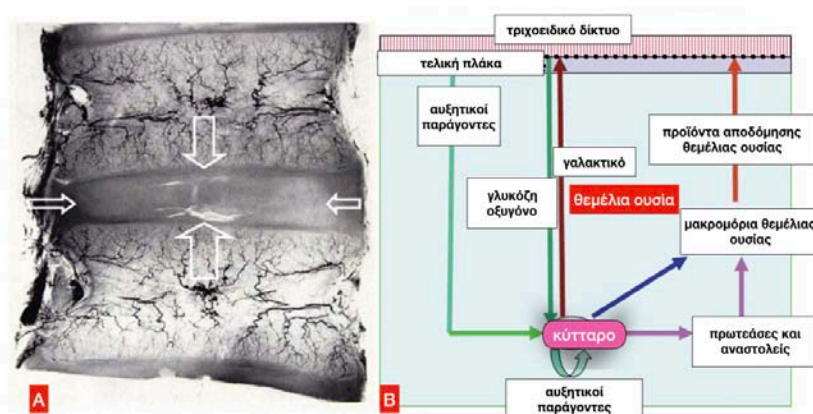
Ο φυσιολογικός δίσκος, πιο συγκεκριμένα ο πυρήνας του, αποβάλλει νερό όταν συμπιέζεται παρατεταμένα και επανααρροφά νερό όταν η φόρτιση σταματάει. Η κύρια οδός ροής είναι μέσω της χόνδρινης τελικής πλάκας, χάρη στους πόρους στο οστέινο τελικό πέταλο και στην ποροελαστική συμπεριφορά του εξωκυττάριου στρώματος της χόνδρινης τελικής πλάκας. Ισοδυναμία μεταξύ της υδροστατικής πίεσης που οδηγεί στην αφυδάτωση και της οσμωτικής πίεσης διόγκωσης που ανθίσταται σε αυτή είναι αδύνατο να επιτευχθεί. Κατά την ανάπαυση, η οσμωτική πίεση διόγκωσης είναι η μόνη δύναμη που οδηγεί σε επαναρρόφιση ύδατος από το δίσκο. Η δέσμευση του νερού είναι τόσο ισχυρή ώστε τη νύχτα κατά την κατάκλιση το ύψος του δίσκου αυξάνεται σημαντικά. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται **ημερήσια μεταβολή (diurnal change)** (εικόνα 12). Το συνολικό ποσό ύδατος που ανταλλάσσεται αντιστοιχεί στο 10-20% του συνολικού όγκου του δίσκου [15].



Εικόνα 11 Έγχρωμη T2 χαρτογράφηση οσφυϊκών μεσοσπονδυλίων δίσκων A) το πρωί και B) το απόγευμα, όπου διαφαίνονται οι αλλαγές των τιμών T2 στο κεντρικό τμήμα του δίσκου που αντανακλούν την ημερήσια μεταβολή.

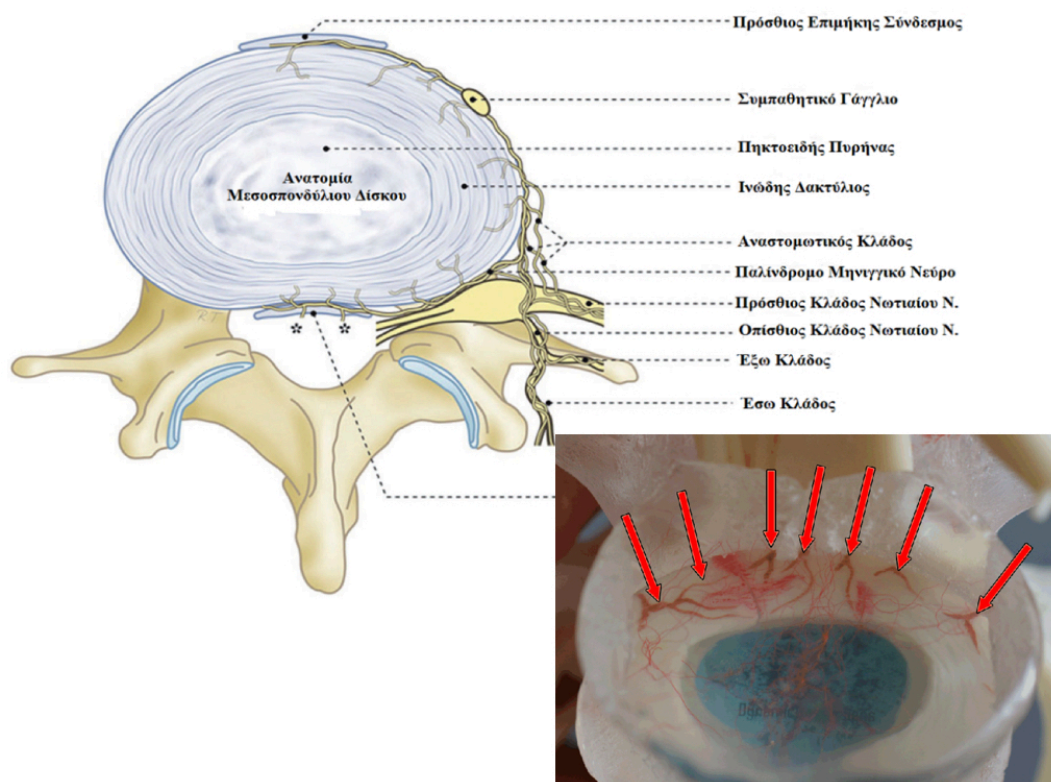
Η διάχυση των θρεπτικών ουσιών ενισχύεται από το φαινόμενο της ημερήσιας μεταβολής. Η διάχυση ενισχύεται επίσης από την κίνηση. Παρατεταμένη ακινησία οδηγεί σε μεταβολικά προβλήματα και ανεπαρκή θρέψη των δισκικών κυττάρων. Έχει επίσης βρεθεί πως συγκεκριμένες συχνότητες δόνησης (4-5Hz) έχουν σαν επακόλουθο τη στάση υγρών και μεταβολικών διεργασιών στο δίσκο. Ο μεσοσπονδύλιος δίσκος είναι ανάγεια δομή και τα κύτταρα του έχουν προσαρμοστεί σε ένα ελαφρώς όξινο περιβάλλον έλλειψης οξυγόνου. Η ανταλλαγή των θρεπτικών προϊόντων γίνεται χάρη σε ένα πυκνό στρώμα τριχοειδικών αγγείων από τη χόνδρινη τελική πλάκα προς το πυκνό εξωκυττάριο στρώμα του δίσκου και στη συνέχεια προς τα κύτταρα. Για τα μικρά μόρια όπως η γλυκόζη, το γαλακτικό οξύ και το οξυγόνο η μετακίνηση αυτή γίνεται με τη διάχυση και όχι με μεταφορά λόγω κίνησης του υγρού κατά την ημερήσια μεταβολή (εικόνα 13).

Η γλυκόλυση αποτελεί σχεδόν την αποκλειστική οδό παραγωγής ενέργειας (με τη μορφή ATP) για τα κύτταρα του δίσκου. Τα κύτταρα του πηκτοειδούς πυρήνα (και του ινώδους δακτυλίου) χρησιμοποιούν γλυκόζη και παράγουν γαλακτικό οξύ σε έντονους ρυθμούς. Οι ρυθμοί αυτοί εξαρτώνται από την τοπική οξύτητα και από τη συγκέντρωση των θρεπτικών ουσιών. Αν και το οξυγόνο δεν είναι απαραίτητο για τη επιβίωσή τους, η κυτταρική δραστηριότητα και η σύνθεση μακρομορίων επιβραδύνεται σημαντικά σε συνθήκες υποξίας. Σε συνθήκες εργαστηρίου (in vitro), η επιβίωση των κυττάρων απειλείται σε συγκεντρώσεις γλυκόζης <0.5mM. Διατήρηση των επιπέδων γλυκόζης και οξύτητας σε μια κυτταρική καλλιέργεια είναι εύκολο να ρυθμιστεί. Δεν είναι το ίδιο εύκολο στο μεσοσπονδύλιο δίσκο in situ. Η μείωση στην παροχή των θρεπτικών συστατικών και η συσσώρευση γαλακτικού οξέος που προκαλεί μείωση του pH συνεισφέρουν στην ανάπτυξη εκφυλιστικών μεταβολών στο δίσκο [16].



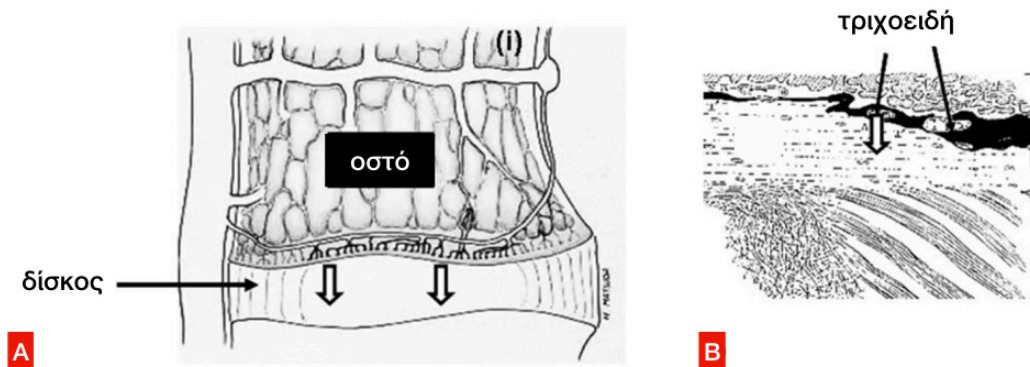
Εικόνα 12 α) διαφαίνεται η αντίθεση της ανάγειας δομής του δίσκου σε σχέση με το σπονδυλικό σώμα και του συνδέσμους. Τα βέλη παριστούν τις οδούς για τη μεταφορά μορίων μέσα στο δίσκο. β) Σχηματική απεικόνιση των ανταλλαγών ανάμεσα στο δίσκο και την αιματική ροή.

Η νεύρωση του φυσιολογικού δίσκου είναι αρκετά περιορισμένη. Νευρώνονται μόνο οι εξωτερικές στιβάδες του ινώδους δακτυλίου από ελεύθερες, απομυελινωμένες νευρικές απολήξεις που μεταφέρουν ώσεις προς τα νωτιαία νεύρα. Με το σχηματισμό ρωγμών στον ινώδη δακτύλιο λόγω της εκφυλιστικής διαδικασίας, νεοαγγεία και ελεύθερες νευρικές απολήξεις διεισδύουν βαθύτερα στο δίσκο και ίσως διαδραματίζουν ρόλο στην εμφάνιση δισκογενή πόνου. Ο δίσκος προπίπτει είτε προς τη νωτιαία ρίζα είτε προς είτε προς τη σπονδυλική άρθρωση. Το κολποσπονδυλικό νεύρο νευρώνει το οπισθοπλάγιο τμήμα του ινώδη δακτυλίου και τον οπίσθιο επιμήκη σύνδεσμο. Στον υγιή δίσκο, οι ελεύθερες απολήξεις του εδράζονται στην πιο εξωτερική στιβάδα της περιφέρειας του ινώδους δακτυλίου, στην περιοχή που δέχεται τα μικρότερα συμπιεστικά φορτία. Οι νευρικοί κλάδοι ή τα τριχοειδή από τα οποία εξαρτώνται ίσως δεν είναι ικανά να επιβιώσουν των υψηλών πιέσεων που ασκούνται πιο εσωτερικά στον ινώδη δακτύλιο και στον πηκτοειδή πυρήνα. Οι απολήξεις των νεύρων και τα τριχοειδή μπορούν να διεισδύσουν βαθύτερα προς το κέντρο ενός εκφυλισμένου (επώδυνου) δίσκου, στον οποίο η υδροστατική πίεση είναι χαμηλότερη (εικόνα 14)[17,18].



Εικόνα 13 Νεύρωση μεσοσπονδύλιου δίσκου, διείσδυση απολήξεων νευρικών κλάδων σε εκφυλισμένο δίσκο (κόκκινα βέλη).

Παρότι ορθά θεωρείται ανάγγεια δομή σαν ιστός, υπάρχει πέριξ του δίσκου αιματική παροχή που προέρχεται από τις σπονδυλικές αρτηρίες οι οποίες δημιουργούν δυο τριχοειδικά πλέγματα. Το ένα διεισδύει σε πολύ μικρό βάθος στην περιφέρεια του ινώδους δακτυλίου (1-2mm), και το άλλο αρχίζει από το σπονδυλικό σώμα και διακλαδίζεται στο υποχόνδριο οστό (εικόνα 15) [7].



Εικόνα 15 Α) Σχηματική απεικόνιση της μικροκυκλοφορίας προς το δίσκο. Β) Λεπτομέρεια των τριχοειδών που διαπερνούν την τελική πλάκα και τερματίζουν στο όριο τελικής πλάκας-πηκτοειδούς πυρήνα.

3. Εφαρμοσμένη ανατομία

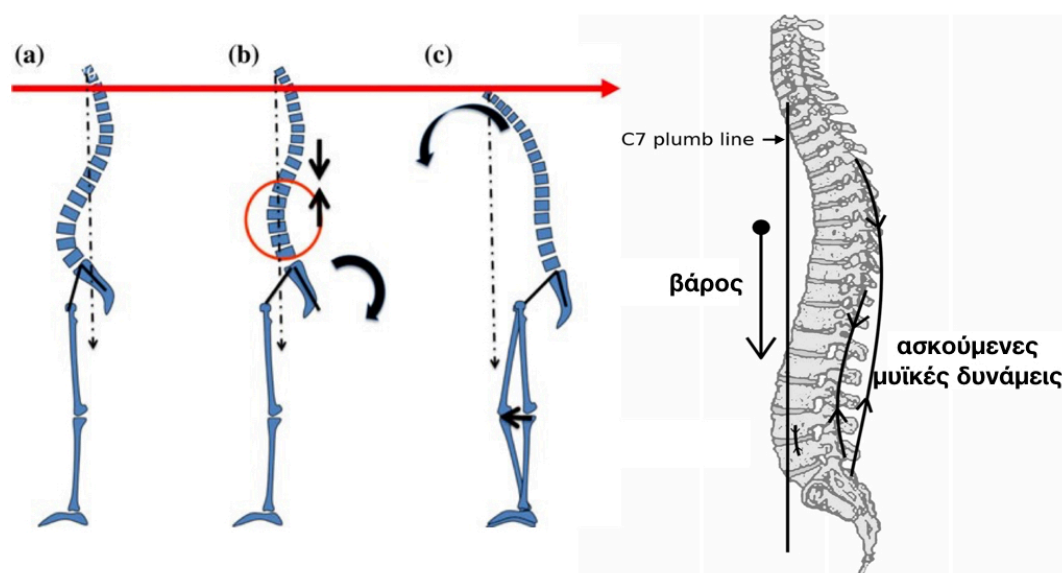
Στην αυχενική μοίρα της σπονδυλικής στήλης η σταθερότητα έχει θυσιαστεί προς χάριν της κινητικότητας, καθιστώντας την ευαίσθητη σε τραυματισμούς. Η κύρια κίνηση των ατλαντοϊνιακών αρθρώσεων είναι κάμψη και έκταση (εύρος 15-20⁰), δηλαδή ένα νεύμα του κεφαλιού. Η πλάγια κάμψη είναι 10⁰, ενώ η περιστροφή είναι αμελητέα. Οι πιο κινητές αρθρώσεις της αυχενικής μοίρας είναι οι ατλαντοαξονικές. Η περιστροφή είναι η κύρια κίνησή τους και φτάνει τις 50⁰. Η κάμψη, η έκταση και η πλάγια κάμψη δεν ξεπερνούν τις 5-10⁰. Η μεγαλύτερη κάμψη και έκταση των μεσοσπονδύλιων αρθρώσεων συμβαίνει στα επίπεδα A4-5, A5-6 και A6-7, περιοχές στις οποίες αναμένεται η μεγαλύτερη πιθανότητα εμφάνισης εκφυλιστικής αρθροπάθειας. Εκφύλιση του μεσοσπονδύλιου δίσκου εμφανίζεται ταχύτερα από οποιαδήποτε άλλη στην αυχενική μοίρα της σπονδυλικής στήλης. Οι μεσοσπονδύλιοι δίσκοι προσδίδουν στην αυχενική μοίρα το λорδωτικό της σχήμα.

Η θωρακική μοίρα της σπονδυλικής στήλης είναι η πιο άκαμπτη χάρη στην ύπαρξη του θωρακικού κλωβού. Υπάρχουν 24 πλευροσπονδυλικές αρθρώσεις ανάμεσα στις πλευρές και τα σπονδυλικά σώματα. Η 1^η, 10^η, 11^η και 12^η πλευρά αρθρώνονται με έναν σπόνδυλο. Η 2^η έως την 9^η αρθρώνονται με δυο γειτονικούς σπονδύλους η κάθε μία και τον μεσοσπονδύλιο δίσκο τους. Οι πλευρεγκάρσιες αρθρώσεις δημιουργούνται μεταξύ των εγκαρσίων αποφύσεων των σπονδύλων και των πρώτων 10 πλευρών. Οι ανάντις αρθρικές αποφύσεις του Θ1 σπονδύλου ομοιάζουν αυτές των αυχενικών σπονδύλων με αποτέλεσμα να θεωρείται μεταβατικός σπόνδυλος. Οι ανάντις αρθρικές αποφύσεις των Θ2-11 προσανατολίζονται προς τα άνω, πίσω και ελαφρά προς τα έξω, ενώ οι αντίστοιχες κατάντις προσανατολίζονται προς τα κάτω, πρόσω και ελαφρά προς τα έσω. Αυτός ο τροπισμός επιτρέπει ήπια στροφική κίνηση της θωρακικής μοίρας. Οι σπόνδυλοι Θ11 και Θ12 θεωρούνται επίσης μεταβατικοί λόγω του τροπισμού των αρθρικών αποφύσεων τους κατά τρόπο όμοιο με αυτό της οσφυϊκής μοίρας.

Η οσφυϊκή μοίρα δέχεται τα μεγαλύτερα φορτία σε σχέση με την υπόλοιπη σπονδυλική στήλη. Οι φυσιολογικές μεσοσπονδυλίες αρθρώσεις δέχονται το 20-25% των αξονικών συμπιεστικών φορτίων, με αυξανόμενη όμως κίνηση έκτασης το ποσοστό αυτό μπορεί να φτάσει το 70%, όπως σε περίπτωση μεγάλης εκφύλισης του μεσοσπονδύλιου δίσκου. Επιπρόσθετα, χάρη του τροπισμού τους (περίπου παράλληλες στο οβελιαίο επίπεδο, αν και υπάρχουν αρκετές παραλλαγές) προσφέρουν το 40% της στροφικής και διατμητικής σταθερότητας.

Τα εξωτερικά φορτία που δρουν στη σπονδυλική στήλη σχετίζονται με το σωματικό βάρος συμπεριλαμβανομένων των επιδράσεων της αδράνειας και των μυϊκών δυνάμεων για τη διατήρηση της στάσης και την έναρξη κίνησης. Κατά την όρθια στάση, το κέντρο βάρους του κορμού εδράζεται μπροστά από τη σπονδυλική στήλη και η γραμμή βαρύτητας (διατήρηση ισορροπίας) διέρχεται από τις μηριαίες κεφάλες και βρίσκεται ελάχιστα πίσω από το κέντρο βάρους. Στον υγιή άνθρωπο, η

κατακόρυφη γραμμή που διέρχεται από τον A7 (plumb line) βρίσκεται πιο οπίσθια από τη γραμμή βαρύτητας και διέρχεται από το ιερό οστό. Οι μυϊκές ομάδες της ράχης αντιρροπούν την τάση αυτή για πρόσθια κάμψη της σπονδυλικής στήλης και κατά συνέπεια συμπιεστικά φορτία ασκούνται στο μεσοσπονδύλιο διάστημα. Με τις κινήσεις και στάσεις του σώματος, οι μυϊκές δυνάμεις για τη διατήρηση της όρθιας στάσης και κατά συνέπεια τα φορτία αυτά πολλαπλασιάζονται. Η πίεση πάνω στο δίσκο προέρχεται περισσότερο από τη μυϊκή δραστηριότητα παρά από το βάρος του σώματος κι έτσι η πίεση ποικίλλει ανάλογα με τη θέση στάση του σώματος και την κίνηση. Σε παθολογικές καταστάσεις, το κέντρο της βαρύτητας βρίσκεται υπερβολικά μπροστά από τις μηριαίες κεφαλές. Αυτό παρατηρείται συχνά σε περιπτώσεις κεντρικής παχυσαρκίας, εγκυμοσύνης, θωρακικής κύφωσης οφειλόμενης σε οστεοπόρωση και σε εκσεσημασμένες εκφυλιστικές αλλοιώσεις της οσφυϊκής μοίρας σε ηλικιωμένους. Αρχικά αυτή η οπίσθια ανισορροπία είναι καλά ανεκτή αφού εν μέρει αντιρροπείται από τη θωρακική κύφωση. Ύστερα από ένα όριο όμως, οι οπίσθιοι σπονδυλικοί μύες συσπώνονται υπέρμετρα (πολλές φορές επώδυνα) για να ανασηκώσουν τον κορμό, ασκώντας ταυτόχρονα μεγάλα φορτία στις σπονδυλικές αρθρώσεις. Επιπρόσθετα, η πύελος αυξάνει την οπίσθια κλίση της σε σχέση με τα μηριαίες κεφαλές οδηγώντας σε υπερέκταση τις αρθρώσεις των ισχίων ενώ τελικά ο ασθενής αναγκάζεται να λυγίσει τα γόνατα του για να διατηρήσει την ισορροπία του (εικόνα 15) [19-22].



Εικόνα 16 a, b, c) η επίδραση της γήρανσης στην οβελιαία ισορροπία. Από μια καλά ισορροπημένη σπονδυλική στήλη, προοδευτικά έρχεται η απώλεια του ύψους του μεσοσπονδυλίου διαστήματος και αντιρρόπηση με αύξηση της οπίσθιας κλίσης της πύελου και της σύσπασης των μυών, ενώ τελικά με την πρόοδο της κύφωσης η οπίσθια κλίση της πύελου φτάνει ένα τελικό όριο και ο ασθενής λυγίζει τα γόνατα για τη διατήρηση της ισορροπίας του (η plumb line να διέρχεται από τη βάση ισορροπίας).

4. Εκφύλιση

Ο όρος εκφύλιση αναφέρεται στη μακροσκοπική εμφάνιση του δίσκου και είναι γενικός όρος, περιλαμβάνοντας τόσο τη φυσική γήρανση όσο και τις μεταβολές της δομικής εκφύλισης. Απαραίτητο κρίνεται να διευκρινιστεί τι σημαίνει εκφύλιση λόγω φυσικής γήρανσης και τι δομική εκφύλιση. Σαν φυσική γήρανση του δίσκου νοείται η ηλικιακή εκφύλιση του δίσκου μέσω φυσιολογικών μηχανισμών, εμφανίζεται σε κάθε δίσκο με την πάροδο του χρόνου σε κάθε άνθρωπο σε άλλοτε άλλο βαθμό και δεν οδηγεί απαραίτητα σε δισκογενή πόνο. Στη δομική εκφυλιστική νόσο του δίσκου, ακολουθούνται τα ίδια βήματα με τη γήρανση μέχρις ότου οι μηχανισμοί φυσιολογικής γήρανσης να διαταραχθούν ή να επιταχυνθούν οδηγώντας στην καταστροφή των φυσιολογικών δομών του δίσκου. Παραδείγματα δομικής καταστροφής που εμποδίζουν τη φυσιολογική λειτουργία του δίσκου αποτελούν η αφυδάτωση του πηκτοειδούς πυρήνα, σχισμές και ρωγμές του ινώδους δακτυλίου και σκληρυντικές αλλοιώσεις του υποχόνδριου οστού στις τελικές πλάκες. Ακολουθεί η εμφάνιση άλγους και κλινικής συμπτωματολογίας. Η εκφύλιση του δίσκου έχει ισχυρή γενετική προδιάθεση και άμεση συσχέτιση με την ηλικία. Άλλοι αναγνωρισμένοι παράγοντες είναι το κάπνισμα, ο σακχαρώδης διαβήτης, το τοπικό τραύμα (ιατρογενές και μη) και η λοίμωξη.

Η εκφύλιση του μεσοσπονδύλιου δίσκου αποτελεί αντικείμενο εντατικής ιατρικής έρευνας σε μοριακό επίπεδο, δεδομένων των ολέθριων συνεπειών σε ατομικό και κοινωνικό επίπεδο λόγω του δισκογενούς πόνου και των νευρολογικών βλαβών που επιφέρουν στον ασθενή. Παρ' όλα αυτά υπάρχει ακόμα αναζήτηση ως προς τις αιτίες και το εναρκτήριο βήμα του καταρράκτη της εκφυλιστικής διαδικασίας.

Η εκφυλιστική διαδικασία χαρακτηρίζεται σε κυτταρικό επίπεδο από τη διατάραξη του δυναμικού ισοζυγίου μεταξύ σύνθεσης και αποδόμησης του εξωκυττάριου στρώματος εξαιτίας αφενός της μείωσης παραγωγής των δομικών συστατικών του και αφετέρου της αυξημένης έκφρασης καταβολικών ενζυματικών διαδικασιών. Αυτός ο καταβολικός φαινότυπος έχει αποδοθεί στην έκκριση φλεγμονωδών μεσολαβητών, όπως οι ιντερλευκίνες (IL) και ο παράγοντας νέκρωσης όγκων (TNF). Πιο ειδικά, ο TNFα και οι υποδοχείς του εκφράζονται σε υγιείς κι εκφυλισμένους δίσκους και προκαλούν αποδόμηση του εξωκυττάριου στρώματος. Αυτό επιτυγχάνεται με την υποέκφραση των γονιδίων των aggrecans και του κολλαγόνου τύπου II και την ταυτόχρονη αύξηση της έκφρασης και της δραστηριότητας των μεταλλοπρωτεϊνών [23].

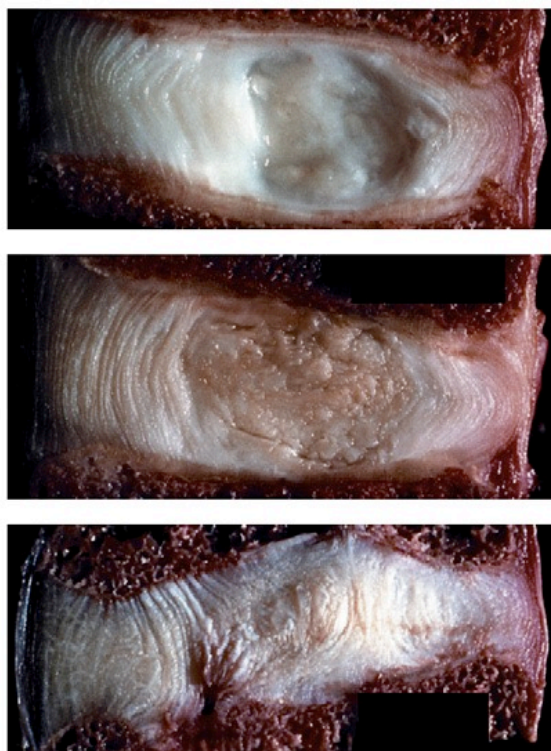
Νευραλγικές είναι οι αλλαγές στη σύσταση και το ρόλο που διαδραματίζει ο πηκτοειδής πυρήνας. Συγκεκριμένα, επέρχεται αλλαγή της κυτταρικής του σύστασης με τη μείωση του πληθυσμού των ενεργών κυττάρων από πολύ νωρίς ενώ επίσης αλλάζει το βιοχημικό προφίλ της θεμέλιας ουσίας. Τα κύτταρα της νωτιαίας χορδής μετατρέπονται σε χονδροκύτταρα με επακόλουθο τη μείωση της παραγωγής κολλαγόνου τύπου II και τη μείωση υδρόφιλων πρωτεογλυκανών. Αυτό οδηγεί στην

προοδευτική απώλεια της ικανότητας του πυρήνα να διατηρεί το σχήμα του μέσω διατήρησης της υδροστατικής πίεσης κατά τη φόρτιση, αλλά και της επαναρρόφησης ύδατος κατά τη αποφόρτιση.

Η πιθανότερη εξήγηση για την εμφάνιση της γήρανσης βρίσκεται στην ιδιοπαθή απώλεια της επαρκούς αιμάτωσης και διατροφής του δίσκου. Έχει παρατηρηθεί ιδιοπαθής ερήμωση της τριχοειδικής κοίτης που βρίσκεται πάνω από τις χόνδρινες τελικές πλάκες, η οποία ξεκινάει ήδη από τα 2 πρώτα έτη της ζωής [24]. Η έλλειψη θρεπτικών συστατικών λόγω πλημμελούς αιμάτωσης οδηγεί σε κυτταρικό θάνατο κι έτσι μείωση των παραγόμενων πρωτεογλυκανών που είναι απαραίτητες για τη συγκράτηση των μορίων νερού και τη διατήρηση της υδροστατικής πίεσης του πυρήνα. Η πτώση στην υδροστατική πίεση καθεαυτή προκαλεί ακόμα μεγαλύτερη μείωση των μορίων των πρωτεογλυκανικών aggregates καθώς τα κύτταρα χρειάζονται σταθερό περιβάλλον υδροστατικής πίεσης για τη σωστή λειτουργία τους. Κατά συνέπεια, ο πυρήνας γίνεται πιο διαπερατός και δε μπορεί να απορροφήσει τα ίδια μηχανικά φορτία για αρκετό χρονικό διάστημα. Επιπλέον, επηρεάζεται και η ποιότητα των παραγόμενων ινών κολλαγόνου από τη διαταραχή της κυτταρικής λειτουργίας. Οι ίνες αυτές είναι παχύτερες και λιγότερο αλληλένδετες. Τέλος, καταβολικές διαδικασίες επισυμβαίνουν στο δίσκο, ενζυματικές και μη, οι οποίες καθιστούν τον πυρήνα μια αφυδατωμένη ινώδη δύσκαμπτη δομή [25]. Μετατοπίζεται λοιπόν η φόρτιση προς την περιφέρεια του δίσκου και ο ινώδης δακτύλιος γίνεται η δομή του δίσκου που δέχεται τα ισχυρότερα φορτία. Όλα τα παραπάνω επισυμβαίνουν σε κάθε δίσκο με την πάροδο του χρόνου και δεν αντιστοιχούν απαραίτητα σε κλινική συμπτωματολογία. Παρ' όλα αυτά, το βήμα που θα επιταχύνει την παραπάνω διαδικασία είναι η δομική καταστροφή του δίσκου.

Με την εκφύλιση του πηκτοειδούς πυρήνα, και τη μείωση της ενδοδισκικής πίεσης, προκαλείται αλλαγή της φοράς απόκλισης των πεταλίων του ινώδους δακτυλίου με προς τα έξω μεταβολή της κυρτότητάς τους, με αποτέλεσμα την αποκόλληση των πεταλίων μεταξύ τους και την καταστροφή του διαπεταλιακού δικτύου γεφύρωσης και την αύξηση πιθανότητας εμφάνισης ρωγμών στον ινώδη δακτύλιο. Στην τελική πλάκα, η μείωση της τάσης του ινώδους δακτυλίου και η διαταραχή της κατανομής των φορτίων από τον πυρήνα μεταβάλλει τα βιομηχανικά φορτία που δέχεται με πιθανό αποτέλεσμα την εμφάνιση σκληρυντικών αλλοιώσεων, μικροκαταγμάτων και την εμφάνιση όζων του Schmorl, δηλαδή την προώθηση δισκικού υλικού από ρωγμές της χόνδρινης τελικής πλάκας προς το οστέινο τελικό πέταλο και το σπονδυλικό σώμα. Το τελικό αποτέλεσμα είναι ένας φαύλος κύκλος επανειλημμένης καταδικασμένης στην αποτυχία προσπάθειας επούλωσης και συνεχών μικροτραυματισμών που χαρακτηρίζουν την εκφύλιση του δίσκου. Η γενετική προδιάθεση και η γήρανση αδυνατίζουν τη θεμέλια ουσία του δίσκου, η μηχανική φόρτιση διαταράσσει τη δομή του και η ανεπαρκής μεταφορά μεταβολιτών εμποδίζει την πλήρη επούλωση. Μακροσκοπικά, ο πηκτοειδής πυρήνας στο παιδί και τον έφηβο από διαυγής γίνεται λευκός και αδιαφανής ενώ στον ενήλικα γίνεται όλο και

πιο αφυδατωμένος με περισσότερο κολλαγόνο και από λευκός γίνεται καφεκίτρινος (εικόνα 17) [18,26].



Εικόνα 17 Μέση οβελιαία διατομή μεσοσπονδύλιων δίσκων σε διαφορετικά στάδια εκφύλισης α) υγιής δίσκος νεαρού ενήλικα β) υγιής δίσκος μεσήλικα γ) σοβαρά εκφυλισμένος δίσκος νεαρού ενήλικα [10].

Τα αποτελέσματα της δομικής εκφύλισης του δίσκου είναι:

- 1) Η δισκοκήλη – μετακίνηση πυρηνικού υλικού διαμέσου ρωγμών στον ινώδη δακτύλιο μέχρι και την περιφέρεια του δίσκου. Διασπώνται και τα έξω πετάλια του ινώδους δακτυλίου με αποτέλεσμα συσσώρευση του διαφυγόντος υλικού υπό τον οπίσθιο επιμήκη σύνδεσμο (υποσυνδεσμική κήλη) ή και διάχυση στο νωτιαίο σωλήνα (απόλυμα).
- 2) Η εισβολή νευρικών ινών προς το εσωτερικό του δίσκου – αμέσως μετά την εμφάνιση ρωγμής και την προσπάθεια επιδιόρθωσης κατά την ανάπτυξη κοκκιωματώδους ιστού.
- 3) Στένωση του σπονδυλικού σωλήνα και των μεσοσπονδυλίων τρημάτων – Η μετατόπιση της αξονικής φόρτισης προς τις οπίσθιες δομές (ζυγοαποφυσιακές αρθρώσεις, επιφυσιακός δακτύλιος), προκαλούν τον οστίτη ιστό να προσαρμοστεί υπερτροφικά. Επειδή ό μως οι ζυγοαποφυσιακές αρθρώσεις συμβάλλουν στη διαμόρφωση του μεσοσπονδυλίου τρήματος (οπίσθιο τοίχωμα) απ' όπου διέρχονται τα νωτιαία νεύρα, έχουμε στένωση αυτού λόγω της υπερτροφίας. Κεντρική μυελική στένωση προκαλείται με παρόμοιο

μηχανισμό λόγω πάχυνσης του οπισθίου τμήματος της δακτυλιοειδούς επίφυσης.

Εκφυλιστικές αλλοιώσεις μπορούν να υπάρχουν σε κάθε μοίρα της σπονδυλικής στήλης. Τα τμήματα που πλήττονται συχνότερα είναι τα διαστήματα A5-6 (άνδρες 51.5%, γυναίκες 46%), Θ6-7 (άνδρες 32,4%, γυναίκες 37.7%) και Ο4-5 (άνδρες 69.1%, γυναίκες 75.8%) [27]. Οι αλλοιώσεις αυτές ξεκινούν ήδη από τις δυο πρώτες δεκαετίες της ζωής. Μετά όμως από αυτή την περίοδο των έντονων αλλαγών η κατάσταση παραμένει στάσιμη μέχρι την επανέναρξη της μετά την τέταρτη δεκαετία της ζωής [26]. Πρόσφατες έρευνες διαμορφώνουν την υπόθεση ότι ο κίνδυνος συμβάματος προβολής του δίσκου λόγω μηχανικών φορτίων είναι υψηλότερος σε νεαρούς μη εκφυλισμένους δίσκους και μάλιστα κατά τις πρωινές ώρες που η υδατική περιεκτικότητα και η ενδοδισκική πίεση είναι στις μέγιστες τιμές τους [25].

5. Απεικονιστική ανατομία

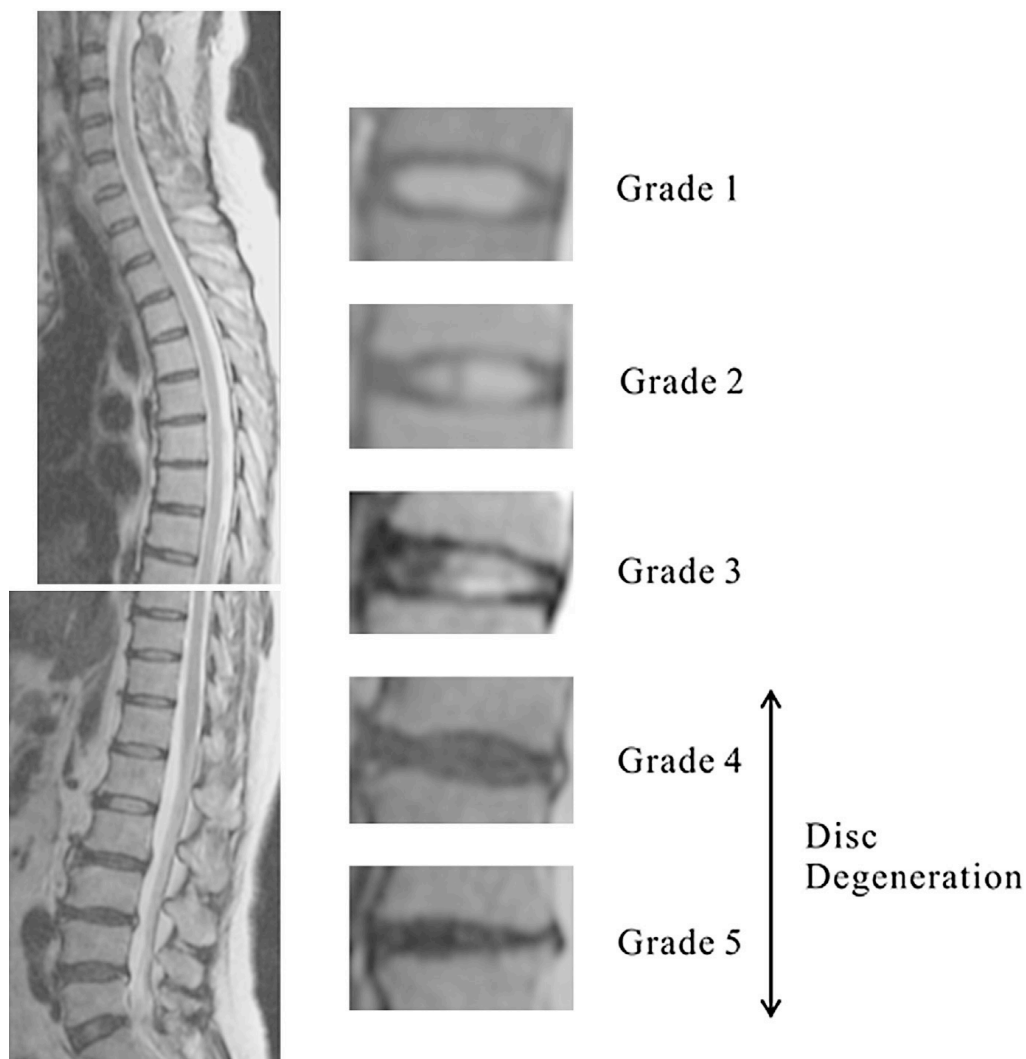
5.1 Απεικόνιση με μαγνητική τομογραφία

Η μαγνητική τομογραφία αποτελεί τη μέθοδο εκλογής της απεικόνισης του δίσκου τόσο σε ότι αφορά τόσο τη φυσιολογική ανατομία του όσο και των παθολογικών και βιοχημικών μεταβολών του. Με βάση την πυκνότητα πρωτονίων, υδατική περιεκτικότητα και χημικό περιβάλλον, η μαγνητική τομογραφία απεικονίζει την ενυδάτωση του δίσκου και τη μορφολογία του. Η μαγνητική τομογραφία μπορεί να απεικονίσει τόσο τη συγκέντρωση μακρομορίων του όσο και τη δομική ακεραιότητα μέσα στο μεσοσπονδύλιο δίσκο και θεωρείται η καλύτερη μη επεμβατική μέθοδος απεικόνισης του μεσοσπονδυλίου διαστήματος και της εκφυλιστικής νόσου του *in vivo*. Στις T1W εικόνες το κεντρικό τμήμα του δίσκου εμφανίζει χαμηλό σήμα σε σχέση με το περιφερικό τμήμα, το οποίο συγχωνεύεται με μια περιοχή ακόμα πιο χαμηλού σήματος. Στις T2 ακολουθίες, ο φυσιολογικός δίσκος εμφανίζει ένα φωτεινό σήμα υψηλής έντασης από τον πηκτοειδή πυρήνα και τις έσω ίνες του ινώδους δακτυλίου. Το σήμα από τις έξω ίνες του δακτυλίου είναι χαμηλής έντασης στη σύγκλιση του με τους επιμήκεις συνδέσμους. Οι χόνδρινες τελικές πλάκες και οι σύνδεσμοι εμφανίζουν χαμηλό σήμα στις T1 και T2W εικόνες. Κατά την εκφυλιστική διαδικασία έχουμε μείωση της έντασης του σήματος από το έσω τμήμα του δίσκου (πυρήνας και έσω ίνες του ινώδους δακτυλίου) με αποτέλεσμα η διάκριση μεταξύ έσω και έξω τμήματος να γίνεται προοδευτικά δυσχερής [28]. Στους ενήλικους είναι πιθανό (85-90%) προοδευτικά να εμφανιστεί στις T2W εικόνες μια ζώνη χαμηλού σήματος (σχισμή) που διαιρεί τον πυρήνα σε άνω και κάτω τμήμα και αποτελεί και αυτή μία πρώτη ένδειξη γήρανσης. Πιθανότατα προέρχεται από εγχολεασμό ινωδών πεταλίων του έσω ινώδους δακτυλίου ή είναι αποτέλεσμα επαναλαμβανόμενων φορτίσεων του πυρήνα.

5.2 Σταδιοποίηση εκφύλισης

Για την απεικονιστική διάκριση του εκφυλισμένου δίσκου χρησιμοποιείται ευρέως η κατά Pfirrmann ταξινόμηση ή η τροποποιημένη Pfirrmann σε πιο γερασμένους πληθυσμούς [29]. Πρόκειται για ένα υποκειμενικό σύστημα βαθμονόμησης που μπορεί να προσφέρει μια ημιποσοτική μέθοδο εκτίμησης της εκφυλιστικής διαδικασίας του μεσοσπονδύλιου δίσκου *in vivo*, που αναπτύχθηκε αρχικά για την οσφυϊκή μοίρα αλλά χρησιμοποιείται από αρκετούς συγγραφείς και για τις υπόλοιπες μοίρες της σπονδυλικής στήλης (εικόνα 18).

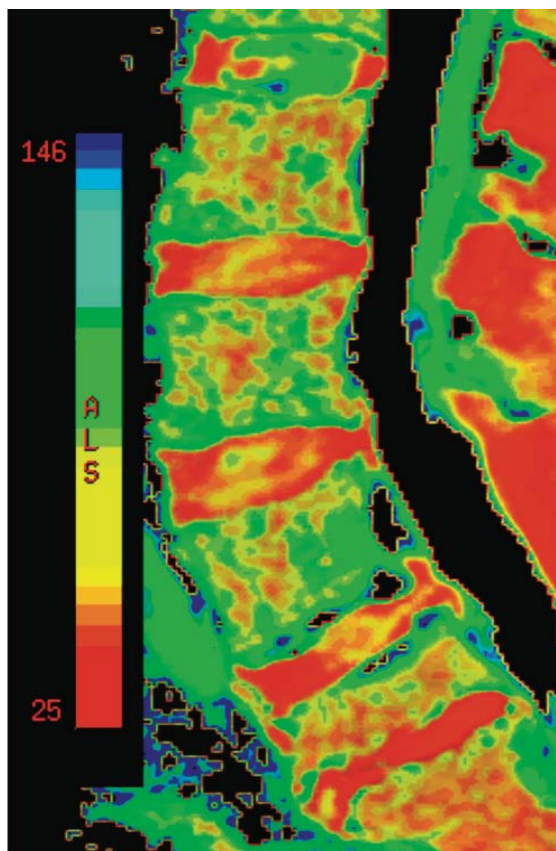
	Σταδιοποίηση κατά Pfirrmann
Βαθμός	Απεικόνιση στις οβελιαίες τομές T2W1
I	Ομοιογενής απεικόνιση με έντονα υψηλό σήμα και φυσιολογικό ύψος του δίσκου
II	Ανομοιογενής απεικόνιση με υψηλό σήμα σαφή διαχωρισμό πυρήνα και ινώδους δακτυλίου, φυσιολογικό ύψος με ή χωρίς σχισμή πυρήνα
III	Ανομοιογενής δίσκος με ενδιάμεσης έντασης σήμα, ασαφή όρια πηκτοειδούς πυρήνα και ινώδους δακτυλίου και μικρή ή καθόλου απώλεια του ύψους του δίσκου
IV	Ανομοιογενής δίσκος με χαμηλό σήμα, απώλεια διαχωρισμού πυρήνα και ινώδους δακτυλίου. Ύψος δίσκου φυσιολογικό ή μειωμένο
V	Ανομοιογενής δίσκος με χαμηλό σήμα. απώλεια διαχωρισμού πυρήνα και ινώδους δακτυλίου. Απώλεια ύψους του δίσκου.



Εικόνα 18 Μέση οβελιαία T2W εικόνα όλης της σπονδυλικής στήλης σύμφωνα με την σταδιοποίηση εκφύλισης κατά Pfirrmann.

5.3 Νεότερες τεχνικές απεικόνισης

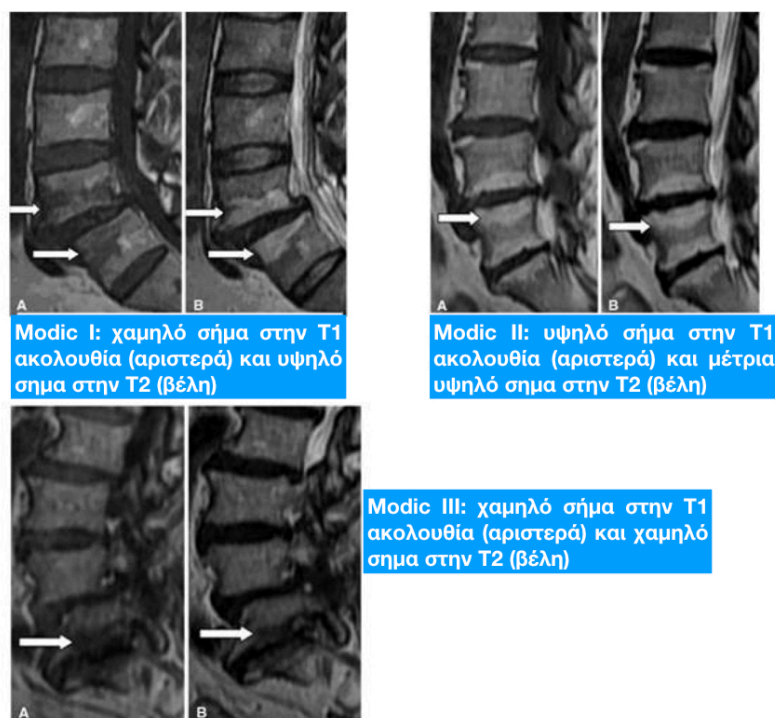
Νεότερες και πιο εξειδικευμένες ποσοτικές τεχνικές απεικόνισης με μαγνητική τομογραφία των πιο πρόωρων βιοχημικών μεταβολών του εξωκυττάριου στρώματος στο δίσκο είναι η δυναμική μαγνητική τομογραφία αντίθεσης, η T1 μέτρηση, η T2 μέτρηση, η μαγνητική φασματομετρία και η τεχνική σταθμισμένης διάχυσης (diffusion weighted imaging). Ο συντελεστής φαινόμενης διάχυσης (ΣΦΔ) και η T2 μέτρηση φαίνεται ότι αποτελούν τις δύο κύριες πιο ευαίσθητες τεχνικές απεικόνισης μοριακών και βιοχημικών μεταβολών στην εκφύλιση του μεσοσπονδύλιου δίσκου. Ο ΣΦΔ είναι μια ποσοτική παράμετρος ευαίσθητη στη μοριακή διάχυση των ιστών. Έχει αποδειχτεί ότι η μειωμένη διάχυση συσχετίζεται τόσο με μείωση της επάρκειας θρέψης στο δίσκο, όσο και με την ένταση του σήματος T2W1. Επίσης, η ποσοτική μέτρηση T2 αντανακλά το μοριακό περιβάλλον του δίσκου, δηλαδή την υδατική περιεκτικότητα, τις γλυκοζαμινογλυκάνες και το κολλαγόνο. Δίσκοι με αυξημένη περιεκτικότητα σε ύδωρ ή γλυκοζαμινογλυκάνες συσχετίζονται με αυξημένη T2 μέτρηση, εν αντιθέσει με αυτούς που έχουν αυξημένη περιεκτικότητα σε κολλαγόνο. Η T2 μέτρηση συσχετίζεται με την κατά Pfirrmann σταδιοποίηση κι επηρεάζεται από την ηλικία και την ημερήσια μεταβολή, και φαίνεται να είναι ένας πιο ευαίσθητος δείκτης ανίχνευσης πρώιμων εκφυλιστικών αλλοιώσεων στο δίσκο σε σχέση με το ΣΦΔ (εικόνα 19) [30,31].



Εικόνα 19 Έγχρωμη εικόνα T2 χρόνων χαλάρωσης. Ο μεσοσπονδύλιος δίσκος στο διάστημα O1-2 χαρακτηρίζεται ως σταδίου II, ενώ στο διάστημα O5-I1 χαρακτηρίζεται ως σταδίου V κατά Pfirrmann [31].

5.4 Αλλοιώσεις τύπου Modic

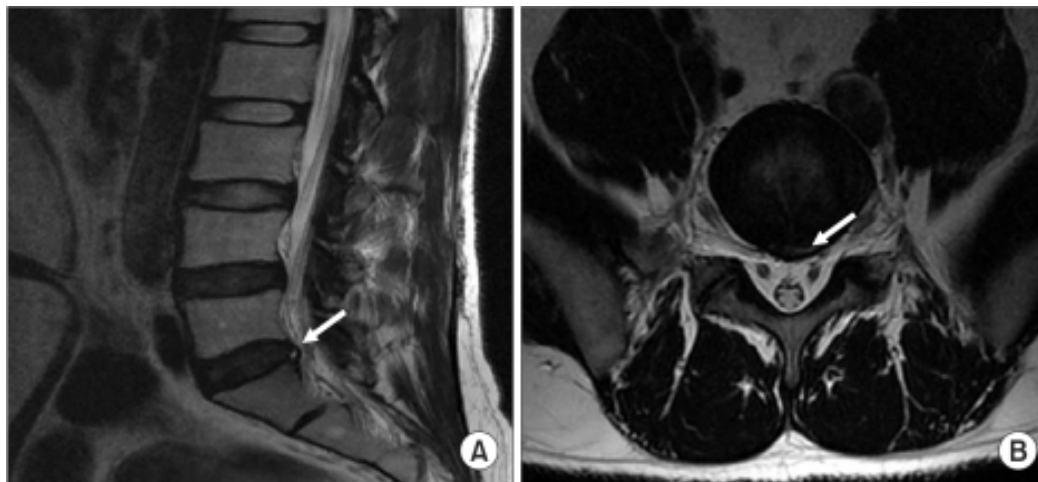
Οι αλλοιώσεις τύπου Modic είναι εκφυλιστικές αλλοιώσεις του μυελού των σπονδυλικών σωμάτων του προσκείμενου στην τελική πλάκα, είναι εμφανείς με μαγνητική τομογραφία και εμφανίζουν 3 διακριτούς τύπους (εικόνα 19). Ο τύπος I χαρακτηρίζεται από χαμηλό σήμα στη T1W ακολουθία και αυξημένο σήμα στην T2W, υποδηλώνοντας οίδημα του μυελού και παρουσία ρωγμών και κοκκιοματώδους ιστού στην τελική πλάκα. Ο τύπος Modic II παρουσιάζει αυξημένης έντασης σήμα και και στην T1W και στην T2W, και αντιπροσωπεύει λιπώδη εκφύλιση του προσκείμενου σπονδυλικού μυελού. Ο τρίτος τύπος παρουσιάζει μειωμένης έντασης σήμα και στις δυο ακολουθίες, υποδηλώνοντας απουσία μυελού και παρουσία οστικής σκλήρυνσης. Υπάρχουν και οι μικτοί τύποι, συνήθως συνδυασμός του I με τον II ή του II με τον III. Συσχετίζεται με άλλα απεικονιστικά ευρήματα εκφυλιστικής νόσου του μεσοσπονδύλιου διαστήματος, όπως η εκφύλιση του δίσκου, η προβολή/πρόπτωση του δίσκου και οι όζοι του Schmorl. Η ηλικία φαίνεται να είναι ο μόνος αξιόπιστος παράγοντας που συσχετίζεται με την εμφάνιση αλλοιώσεων τύπου Modic. Σε μια πρόσφατη μελέτη σε μεγάλο δείγμα ασιατικού πληθυσμού, παρότι ο τύπος Modic I αποδείχτηκε να έχει υψηλή συσχέτιση με παρατεταμένη σοβαρή οσφυαλγία, ο τύπος II φαίνεται να προκαλεί αναπηρία. Επιπλέον, το ύψος και ο αριθμός των αλλοιώσεων είχε κλινική σημασία. Μεγαλύτερες βλάβες Modic κατά τον κεφαλουραίο άξονα ή η παρουσία 2 ή περισσότερων βλαβών συσχετίστηκε ισχυρά με την εμφάνιση αναπηρίας [32-34].



Εικόνα 19 Ταξινόμηση αλλοιώσεων τύπου Modic I, II και III σε οβελιαίες τομές T1 και T2 ακολουθίας.

5.5 Ερμηνεία ευρημάτων στην μαγνητική τομογραφία

Γενικά ευρήματα σε MRI ενδεικτικά εκφύλισης του δίσκου είναι η απώλεια ύδατος, η απώλεια ύψους του δίσκου, πρόπτωση του δίσκου, και διαταραχές της ομαλής μορφολογίας μέσα στον πηκτοειδή πυρήνα. Θα πρέπει να αναζητούνται 3 συγκεκριμένοι τύποι ευρημάτων: 1) μια ζώνη υψηλής έντασης στον οπίσθιο ινώδη δακτύλιο (ενδεικτική ακτινωτής ρήξης των ινών του) (εικόνα 20), 2) σκοτεινός δίσκος με ή χωρίς απώλεια ύψους και 3) αλλαγή στο σήμα των τελικών πλακών (αλλοιώσεις Modic) [21].



Εικόνα 20 Ζώνη υψηλής έντασης στον οπίσθιο ινώδη δακτύλιο Ο5-Ι1 σε Α) οβελιαία και Β) εγκάρσια τομή MRI ΟΜΣΣ Τ2 ακολουθίας.

Κατά την ερμηνεία των ευρημάτων σε μια MRI, ο κλινικός γιατρός πρέπει να είναι ιδιαίτερα προσεκτικός ώστε να αναγνωρίσει τα πολύ συχνά ψευδώς θετικά σημεία σε ασυμπτωματικούς ασθενείς. Το 30% των ασυμπτωματικών εμφανίζουν τουλάχιστον ένα μείζον εύρημα σε MRI οσφυϊκής μοίρας [35]. Σε ασθενείς άνω των 60 ετών, τα ευρήματα αυτά είναι σχεδόν πάντοτε παρόντα ανεξαρτήτως συμπτωμάτων. Σε 50% των ασυμπτωματικών ασθενών ηλικίας 20-80 ετών ανευρίσκεται πρόπτωση δίσκου σε ένα τουλάχιστον επίπεδο. Τα ευρήματα αυτά σε ασυμπτωματικούς δεν είναι ενδεικτικά μελλοντικών προβλημάτων ή εξέλιξης σε οσφυαλγία [36,37].

Πρόσφατα, η διερεύνηση των ασθενών με παθολογία της οσφυϊκής μοίρας στρέφεται προς την MRI με αξονική φόρτιση. Το σκεπτικό είναι η καλύτερη αναπαραγωγή στην απεικόνιση των συνθηκών που επικρατούν στο δίσκο υπό φυσιολογικά φορτία. Η χρησιμότητα της MRI με φόρτιση έχει μελετηθεί στους ασθενείς με σπονδυλολίσθηση και σπονδυλική στένωση, αλλά όχι στους ασθενείς με δισκογενή πόνο. Παρατηρήθηκε σε ασυμπτωματικούς ασθενείς σημαντική μείωση της διατομής του δίσκου μεταξύ στάσης χαλάρωσης με κάμψη των ισχίων και θέση αξονικής συμπίεσης σε έκταση, ιδιαίτερα στο Ο4-5 διάστημα και στους πιο ηλικιωμένους μάρτυρες [38].

5.6 Αναλυτική απεικονιστική ανατομία αυχενικής, θωρακικής και οσφυϊκής μοίρας σπονδυλικής στήλης

- Απεικονιστική ανατομία ΑΜΣΣ

Παρατηρείται μια μικρή διαφορά ανάμεσα στο πρόσθιο και οπίσθιο ύψος των σπονδυλικών σωμάτων στο διάστημα Α3-Α7. Η αυχενική λόρδωση όμως προέρχεται κύρια από τον προσανατολισμό στο οβελιαίο επίπεδο των μεσοσπονδύλιων δίσκων. Η προσθιοπίσθια και πλαγιοπλάγια διάμετρος των σπονδυλικών σωμάτων αυξάνεται από τον Α3 προς τον Α7 σπόνδυλο. Από τα οπισθοπλάγια όρια των άνω τελικών πλακών προβάλλουν προς τα άνω οι αγκιστροειδείς αποφύσεις, οι οποίες αρθρώνονται με σχετικά αβαθή εντυπώματα στα οπισθοπλάγια όρια των κάτω τελικών πλακών του επόμενου κεφαλικά σπονδύλου, σχηματίζοντας τις αγκιστροειδείς αρθρώσεις ή αρθρώσεις του Luschka (εικόνα 22) [39,40].

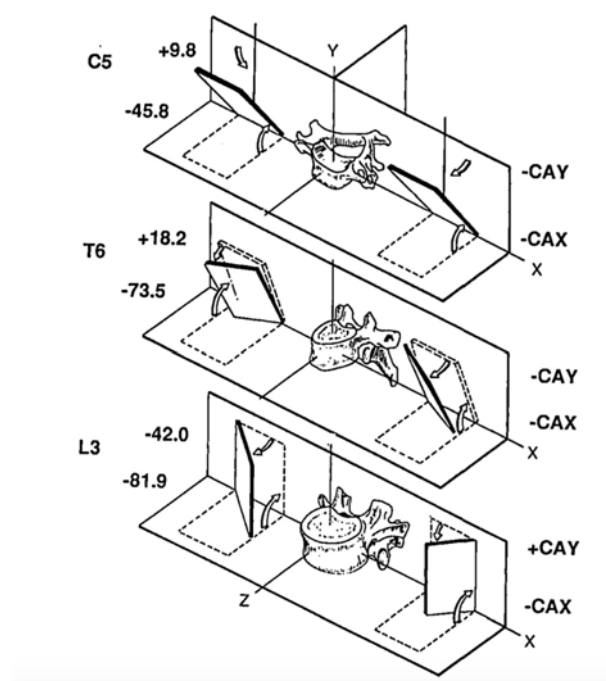
Οι εγκάρσιες αποφύσεις ξεκινούν από την πλάγια επιφάνεια των σπονδυλικών σωμάτων κατά τη μέση γραμμή. Έχουν ένα κοιλιακό και ένα ραχιαίο οστικό τμήμα, που τερματίζουν αντίστοιχα στο πρόσθιο και οπίσθιο φύμα. Το πρόσθιο οστικό τμήμα είναι ομόλογο των θωρακικών πλευρών και καλείται πλευρική απόφυση ή καταβολή. Τα πρόσθια φύματα αυξάνουν προοδευτικά σε μέγεθος από τον Α3 έως τον Α6 σπόνδυλο. Τα πρόσθια φύματα του Α6 ποικίλλουν σε μέγεθος και σχήμα και λέγονται καρωτιδικά φύματα (του Chassaignac), ενάντια στα οποία μπορούν να συμπιεστούν οι καρωτιδικές αρτηρίες. Αυτά αποτελούν επίσης σημείο στόχο για την πραγματοποίηση νευρικού αποκλεισμού του αστεροειδούς γαγγλίου [3]. Τα πρόσθια φύματα συναντούν τα οπίσθια φύματα με μία πλευρεγκάρσια οστική γέφυρα (πάνω στην οποία πορεύεται η αύλακα του νωτιαίου νεύρου) και έτσι σχηματίζεται ανάμεσά τους το τμήμα της σπονδυλικής αρτηρίας. Σπανίως, αλλά με μεγάλη κλινική σημασία, τα τμήματα αυτά διπλασιάζονται ή και τριπλασιάζονται σε άλλοτε άλλο επίπεδο, ετερόπλευρα ή αμφοτερόπλευρα [41]. Οι ακανθώδεις αποφύσεις στο επίπεδο Α3-Α6 είναι δισχιδής, ενώ μονήρης είναι η ακανθώδης απόφυση του Α7 και παρόμοια με τις ακανθώδεις αποφύσεις της θωρακικής μοίρας. Τα όρια των μεσοσπονδύλιων τρημάτων αφορίζονται από τις αγκιστροειδείς αρθρώσεις επί τα εντός και των ζυγοαποφυσιακών αρθρώσεων επί τα εκτός [2].

Η μορφολογία του μεσοσπονδύλιου δίσκου κατέχει πρωτεύοντα ρόλο στη διαμόρφωση της αυχενικής λόρδωσης, όπως προαναφέρθηκε. Το πρόσθιο ύψος είναι μεγαλύτερο από το οπίσθιο ύψος, ενώ το μεγαλύτερο ύψος του συναντάται στη μεσότητα του δίσκου [42,43]. Η δομή του ινώδους δακτυλίου στην ΑΜΣΣ διαφέρει σε σχέση με τη θωρακική και οσφυϊκή μοίρα. Η πρόσθια μοίρα του δακτυλίου είναι πυκνή και παχύτερη, ενώ αδυνατίζει προοδευτικά στην πορεία του οπισθοπλάγια προς τις αγκιστροειδείς αποφύσεις. Η οπίσθια μοίρα του ουσιαστικά αποτελείται από μία μονήρη στιβάδα ινών με κάθετη διάταξη. Στο εγκάρσιο επίπεδο, αυτό ισοδυναμεί με ημισελινοειδή διάταξη [44]. Επιπρόσθετα, η βιοχημική σύσταση του δίσκου διαφέρει στην αυχενική μοίρα σε σύγκριση με τη θωρακική και οσφυϊκή μοίρα. Κατά τα πρώτα χρόνια της ζωής, ο αυχενικός δίσκος έχει περισσότερο κολλαγόνο και

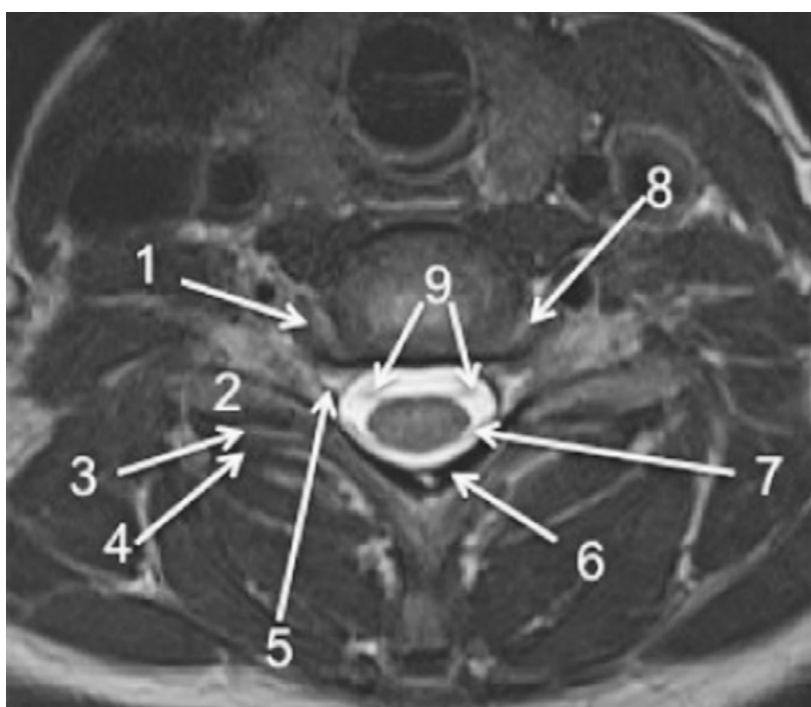
χαμηλή πρωτεογλυκανική σύσταση. Με την πάροδο των ετών όμως, στο τέλος της τρίτης δεκαετία της ζωής, ο πηκτοειδής πυρήνας αρχίζει και γίνεται δυσδιάκριτος από τον περιβάλλοντα ινώδη δακτύλιο. Αυτό αντιστοιχεί σε ένα πιο ομογενοποιημένο χαμηλό σήμα στις T2 ακολουθίες [3]. Το οπίσθιο όριο του δεν πρέπει να προβάλλει περισσότερο από ένα χιλιοστό από το πέρασ της τελικής πλάκας. Ο ινώδης δακτύλιος αγκυροβολεί στα γειτονικά σπονδυλικά σώματα με τις ίνες του Sharpey, που δεν είναι ορατές συνήθως σε μαγνητική τομογραφία.

Οι άνω και κάτω αρθρικές αποφύσεις δημιουργούνται στο σημείο συνένωσης του μίσχου με το πέταλο. Οι αρθρικές επιφάνειες επικαλύπτονται από λεπτό στρώμα υαλοειδούς αρθρικού χόνδρου και περιβάλλονται από ινώδη θύλακο που περιέχει αρθρικό υγρό. Ο θύλακος των αυχενικών ζυγοαποφυσιακών αρθρώσεων είναι πιο χαλαρός και επιμηκυσμένος σε σχέση με τις αντίστοιχες αρθρώσεις στη θωρακική και οσφυϊκή μοίρα [3].

Ο προσανατολισμός των αρθρικών αποφύσεων στην αυχενική μοίρα ποικίλλει. Οι A3 άνω αρθρικές αποφύσεις έχουν κατεύθυνση προς τα έσω και πίσω. Στην πλειοψηφία των περιπτώσεων, οι A4 άνω αρθρικές αποφύσεις έχουν τον ίδιο προσανατολισμό. Οι A7 άνω αρθρικές αποφύσεις όμως έχουν προσανατολισμό προς τα έξω και πίσω. Η μετάβαση αυτή φαίνεται να συντελείται στο επίπεδο του A6 σπονδύλου και είναι σταδιακή. Η κλίση των ζυγοαποφυσιακών αρθρώσεων στο οβελιαίο επίπεδο αυξάνεται προοδευτικά αλλά όχι σημαντικά από τον A3 προς το Θ1 από τις 75^0 στις 80^0 . Σε σχέση με το εγκάρσιο επίπεδο, η κλίση των ζυγοαποφυσιακών αρθρώσεων από τον A2 έως το Θ4 αυξάνεται προοδευτικά αλλά σημαντικά από τις 35^0 στις 75^0 (εικόνα 21) [3,45].



Εικόνα 21 Προσανατολισμός των αρθρικών αποφύσεων στα διάφορα επίπεδα της σπονδυλικής στήλης σε σχέση με το εγκάρσιο και οβελιαίο επίπεδο [45].



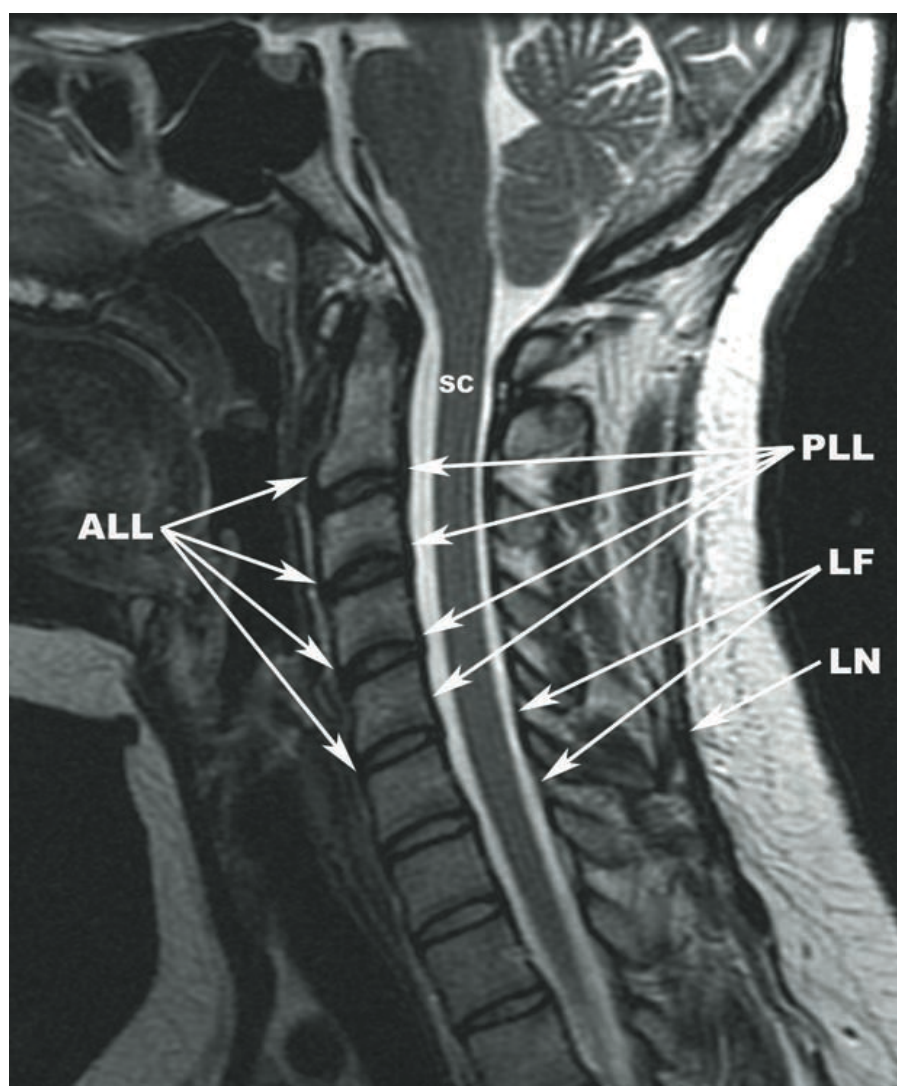
Εικόνα 14 Εγκάρσια τομή MRI κατώτερης αυχενικής μοίρας T2 ακολουθίας. 1= αγκιστροειδής απόφυση, 2= άνω αρθρική απόφυση, 3=ζυγοαποφυσική άρθρωση, 4=κάτω αρθρική απόφυση, 5=φλέβα μεσοσπονδύλιου τμήματος, 6=ωχρός σύνδεσμος 7=νωτιαίος μυελός, 8=αγκιστροειδής άρθρωση, 9=εγκεφαλονωτιαίο υγρό. [46]

Ο πρόσθιος επιμήκης σύνδεσμος είναι μια πολυστρωματική δομή που εκτείνεται κάτωθεν του προσθίου φύματος του άτλαντα και σταδιακά αυξάνει σε πλάτος από τον A3 προς τον A7 σπόνδυλο. Είναι παχύτερος στο ύψος των σπονδυλικών σωμάτων και λεπτότερος στο ύψος των δίσκων. Προσφύεται σταθερά στο πρόσθιο τμήμα των τελικών πλακών, σπανίως (20%) έχει συνδέσεις με τους μεσοσπονδύλιους δίσκους, ενώ προσφύεται συχνότερα (40%) στο κέντρο της πρόσθιας μοίρας των σπονδυλικών σωμάτων. Το πιο εν τω βάθει στρώμα του συνδέσμου προβάλλει προς τα πλάγια στο στο πρόσθιο όριο των αγκιστροειδών αρθρώσεων. Διαδραματίζει καίριο ρόλο στη σπονδυλική σταθερότητα, αντιστέκεται στην υπερέκταση και στηρίζει το μεσοσπονδύλιο δίσκο. Το χαμηλό του σήμα αναμειγνύεται με την περιφέρεια του ινώδους δακτυλίου και τα όρια των σπονδυλικών σωμάτων [46].

Ο οπίσθιος επιμήκης σύνδεσμος εκφύεται από τα κάτω όρια του καλυπτήριου υμένα στο ύψος του A2 σπονδύλου και εκτείνεται μέχρι το ιερό οστό. Η εγκάρσια και προσθιοπίσθια διάμετρος του οπισθίου επιμήκους συνδέσμου είναι μέγιστη στην αυχενική μοίρα. Προσφύεται στην οπίσθια μοίρα του ινώδους δακτυλίου και στις γωνίες της οπίσθιας επιφάνειας των σπονδυλικών σωμάτων, και με χαλαρές συνδέσεις με την κεντρικό τμήμα των σπονδυλικών σωμάτων. Ο πρόσθιος και ο οπίσθιος επιμήκης, όπως και οι περισσότεροι σύνδεσμοι έχουν φυσιολογικά χαμηλό σήμα τόσο στην T1 όσο και στην T2 ακολουθία [3,47].

Οι ωχροί σύνδεσμοι εκτείνονται από το επίπεδο του A1-2 έως και τον πρώτο ιερό σπόνδυλο. Αυξάνονται σε μέγεθος ανάλογα με την αύξηση της απόστασης μεταξύ των πετάλων από τον A3 έως τον A7 σπόνδυλο. Είναι λεπτότεροι στην προσθιοπίσθια διάσταση στην αυχενική μοίρα, ενώ γίνονται πιο ευμεγέθεις στη θωρακική και οσφυϊκή μοίρα. Αποτελούν ζεύγη συνδέσμων που εδράζονται εκατέρωθεν της μέσης γραμμής και ακτινοβολούν από το πρόσθιο κάτω όριο του ανώτερου πετάλου προς το οπίσθιο άνω όριο του κατώτερου πετάλου. Η έξω επιφάνεια τους καλύπτει και στηρίζει την έσω μοίρα των ζυγοαποφυσιακών αρθρώσεων (εικόνα 23) [3,46].

Ο αυχενικός σύνδεσμος (ligamentum nuchae) είναι μία πυκνή ινώδης δομή. Χαρακτηρίζεται από δύο μοίρες, μια ινώδη και μία ελαστική. Εκφύεται από το έξω ινιακό όγκωμα, προσφύεται στο έσω χείλος των δισχιδών ακανθωδών αποφύσεων και καταφύεται στην ακανθώδη απόφυση του A7. Προσφέρει πρόσφυση στους ορθωτήρες μυς της ράχης και στον τραπεζοειδή μυ [3].



Εικόνα 23 Μέση οβελιαία τομή ΑΜΣΣ, T2 ακολουθία. ALL=πρόσθιος επιμήκης σύνδεσμος, PLL=οπίσθιος επιμήκης σύνδεσμος, LF=ωχρός σύνδεσμος, LN=αυχενικός σύνδεσμος. [3]

Οι Α3-Α7 αυχενικές ρίζες πορεύονται, ύστερα από την είσοδό τους, ουραία κατά ένα σπονδυλικό επίπεδο στην έξοδο τους από το μεσοσπονδύλιο τμήμα. Η Α4 ρίζα εδράζεται στο Α3 επίπεδο και εξέρχεται από το σπονδυλικό τμήμα στο επίπεδο Α4-5. Η Α8 ρίζα εξέρχεται από το νωτιαίο μυελό στο Α6 επίπεδο και από το μεσοσπονδύλιο τμήμα στο Α7-Θ1. Οι ραχιαίες και κοιλιακές νωτιαίες ρίζες παρατηρούνται στο μεσοσπονδύλιο τμήμα στις παραοβελιαίες και εγκάρσιες τομές. Η εξερχόμενη ρίζα εντοπίζεται μόλις οπισθίως της σπονδυλικής αρτηρίας. Έχει ενδιάμεσης έντασης σήμα και περιβάλλεται από λίπος με σήμα υψηλής έντασης στην Τ1 ακολουθία και από εγκεφαλονωτιαίο υγρό με σήμα υψηλής έντασης στην Τ2 [3,47].

- Απεικονιστική ανατομία ΘΜΣΣ

Η «τυπική» θωρακική μοίρα εκτείνεται από το Θ2 έως το Θ8 σπόνδυλο. Ο Θ1 σπόνδυλος έχει μεταβατικά στοιχεία, συμπεριλαμβανομένων των αγκιστροειδών αποφύσεων και ορθογώνια διαμόρφωση του σπονδυλικού σώματος που παραπέμπει σε αυχενικό σπόνδυλο. Από το Θ 9 έως το Θ12 σπόνδυλο προοδευτικά παρατηρούνται στοιχεία που ανευρίσκονται στην οσφυϊκή μοίρα.

Η θωρακική κύφωση προκύπτει από τη σφηνοειδή διαμόρφωση των σπονδυλικών σωμάτων, που αυξάνει από το Θ1 -Θ8. Γενικά, η οστική πυκνότητα, ο όγκος και η συμπιεστική ισχύς των σωμάτων αυξάνουν από το Θ1 προς το Θ12 επίπεδο. Στο μετωπιαίο επίπεδο, το πλάτος των σωμάτων στην άνω τελική πλάκα είναι μικρότερο από το αντίστοιχο στην κάτω τελική πλάκα, με αποτέλεσμα μια τραπεζοειδή διαμόρφωση στο επίπεδο αυτό. Η πλαγιοπλάγια διάμετρος είναι μεγαλύτερη από την προσθιοπίσθια διάμετρο των σπονδυλικών σωμάτων. Σε εγκάρσια διατομή, ο τυπικός θωρακικός σπόνδυλος έχει μια οπίσθια κοίλανση στη μέση γραμμή που δημιουργεί καρδιόσχημη διαμόρφωση [48]. Ο οστικός μυελός περιβάλλεται από χαμηλού σήματος φλοιό στην Τ1 ακολουθία, γεγονός που τον καθιστά δυσδιάκριτο από τις γειτονικές δομές της σκληράς μήνιγγας, των σπονδυλικών συνδέσμων και του ινώδους δακτυλίου στην αυχενική και θωρακική μοίρα. Στην οσφυϊκή μοίρα η εμφάνιση του πρόσθιου επισκληριδίου λίπους βελτιώνει τη διάκριση μεταξύ αυτών των δομών [46].

Οι μίσχοι στη θωρακική μοίρα ξεκινούν από μια ανώτερη θέση στα σπονδυλικά σώματα και είναι σημαντικά μακρύτεροι και ευρύτεροι σε σχέση με τους αυχενικούς μίσχους. Είναι στενοί στο εγγάρσιο επίπεδο και ευρείς στο οβελιαίο επίπεδο, σχηματίζοντας έτσι μια ωοειδή διαμόρφωση στο μετωπιαίο επίπεδο. Το σχήμα και ο προσανατολισμός τους επιτρέπει ασφαλή αλλά απαιτητική πρόσβαση στο σπονδυλικό σώμα για την πραγματοποίηση

διαδεσμικής βιοψίας ή κυφοπλαστική [49].

Οι πλευροσπονδυλικές διαρθρώσεις σχηματίζονται ανάμεσα στις κεφαλές των πλευρών και δύο γειτονικά σπονδυλικά σώματα. Τα σώματα έχουν πλευρικά κοίλα ημυγλήνια στην άνω και κάτω επιφυσιική πλάκα. Εξαίρεση αποτελούν οι σπόνδυλοι Θ1, Θ10, Θ11 και Θ12 που έχουν μονήρεις γλήνες.

Οι εγκάρσιες αποφύσεις κατέχουν μια πιο οπίσθια θέση στους θωρακικούς σπονδύλους πίσω από τις ζυγοαποφυσιικές αρθρώσεις, τα νευρικά τρήματα και τους μίσχους. Είναι παχύτερες από τις αυχενικές και κατευθύνονται οπισθοπλάγια. Μειώνονται σε μήκος από το Θ1 προς το Θ12 σπόνδυλο. Στα πρόσθια όριά τους υπάρχουν μικρές αρθρικές επιφάνειες που καλούνται εγκάρσιες γλήνες, που αρθρώνονται με τα φύματα των πλευρών (πλευρεγκάρσια διάρθρωση), εκτός από τα επίπεδα Θ11 και Θ12 [2,3].

Οι άνω αρθρικές αποφύσεις ξεκινούν στη συμβολή των μίσχων με τα πέταλα και προσανατολίζονται κατακόρυφα. Η αρθρική τους επιφάνεια έχει ελαφρά κατεύθυνση προς τα πίσω και έξω. Οι κάτω αρθρικές αποφύσεις ξεκινούν από τα τόξα και η επιφάνεια τους έχει ελαφρά κατεύθυνση προς τα πρόσω και έσω. Η διαμόρφωση αυτή και ο προσανατολισμός τους επιτρέπει ευρείες στροφικές κινήσεις, όχι όμως και κινήσεις κάμψης, έκτασης και πλάγιας κάμψης. Η αλλαγή στον προσανατολισμό στο οβελιαίο επίπεδο των αρθρικών αποφύσεων είναι απότομη. Επισυμβαίνει στο Θ12 επίπεδο για τις κάτω αρθρικές αποφύσεις και στο Ο1 για τις άνω αρθρικές αποφύσεις, με αλλαγή της γωνίας με το οβελιαίο επίπεδο από τις 70° στις 137° , στην πλειοψηφία των περιπτώσεων. Η γωνία με το εγκάρσιο επίπεδο παραμένει σταθερή από Θ4-Θ12 στις 75° [3,45].

Οι ακανθώδεις αποφύσεις έχουν επίμηκες ορθογώνιο σχήμα, παρόμοια με την Α7 ακανθώδη απόφυση. Οι Θ1 -4 αποφύσεις προσανατολίζονται στο οριζόντιο επίπεδο, ενώ οι αποφύσεις από το Θ5 ως το Θ8 σπόνδυλο κατευθύνονται ουραία. Οι Θ9 -12 ακανθώδεις αποφύσεις έχουν χαρακτηριστικά με τις αποφύσεις της οσφυϊκής μοίρας, δηλαδή τετράγωνο σχήμα και προσανατολισμό στο οριζόντιο επίπεδο. Στα οπίσθια όριά τους προσφύονται οι επακάνθιοι σύνδεσμοι, ενώ στα άνω και κάτω όρια τους προσφύονται οι μεσακάνθιοι σύνδεσμοι (εικόνα 24).

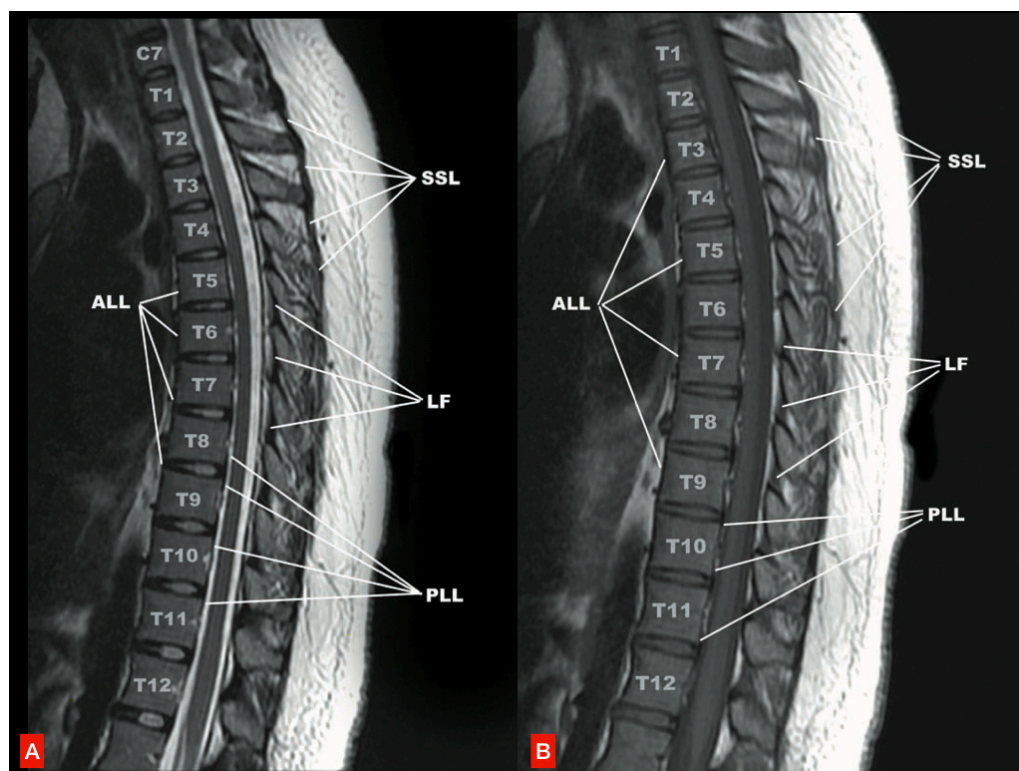


Εικόνα 24 T2 ακολουθία, μέση οβελιαία τομή ΘΜΣΣ. Μεταβολές σχήματος και προσανατολισμού των ακανθωδών αποφύσεων στη ΘΜΣΣ.

Τα πρόσθια και οπίσθια ύψη των θωρακικών μεσοσπονδύλιων δίσκων δεν διαφέρουν, εν αντιθέσει με τι συμβαίνει στους οσφυϊκούς και αυχενικούς δίσκους. Στο μετωπιαίο επίπεδο, έχουν ανεστραμμένο τραπεζοειδές σχήμα.

Ο πρόσθιος επιμήκης σύνδεσμος είναι παχύτερος στην προσθιοπίσθια διάσταση του και λεπτότερος στην πλαγιοπλάγια διάσταση στη θωρακική μοίρα σε σχέση με την υπόλοιπη σπονδυλική στήλη. Η δύναμη τάσης του είναι υψηλότερη στην κατώτερη θωρακική μοίρα. Ο οπίσθιος επιμήκης σύνδεσμος στη θωρακική μοίρα είναι πλατύτερος στην εγκάρσια διάσταση στο επίπεδο των μεσοσπονδύλιων δίσκων και στενός στο επίπεδο των σπονδυλικών σωμάτων, αποκτώντας έτσι οδοντοειδή διαμόρφωση στο χώρο. Τόσο ο πρόσθιος όσο και ο οπίσθιος επιμήκης σύνδεσμος εμφανίζονται στις μέσες οβελιαίες τομές σε όλες τις ακολουθίες παλμού σαν αδιάκοπες επιμήκεις δέσμες χαμηλού σήματος [50]. Οι θωρακικοί ωχροί σύνδεσμοι είναι παχύτεροι από τους αυχενικούς, αλλά λεπτότεροι από τους οσφυϊκούς. Έχουν ενδιάμεσο σήμα στην T1 ακολουθία και διακρίνονται από το υψηλότερου σήματος γειτονικό επισκληρίδιο λίπος και τα χαμηλότερου σήματος πέταλα [46]. Οι μεσακάνθιοι σύνδεσμοι λείπουν στην ανώτερη θωρακική μοίρα (Θ1-5) και αντικαθίστανται από χαλαρό συνδετικό ιστό. Στην κατώτερη θωρακική μοίρα, οι μεσακάνθιοι σύνδεσμοι σχηματίζονται από πρόσθιες επεκτάσεις της

θωρακοσφυϊκής περιτονίας και αυξάνονται προοδευτικά σε πάχος και ισχύ. Οι επακάνθιοι σύνδεσμοι στην απεικόνιση εμφανίζονται σαν μια ξεχωριστή ταινιοειδής δομή, αν και σχηματίζονται από συνδυασμό τενόντιων προσφύσεων και περιτονιών (εικόνα 25) [51].



Εικόνα 25 Συνδεσμική ανατομία της θωρακικής μοίρας της σπονδυλικής στήλης σε Α) οβελιαία T2 ακολουθία και Β) οβελιαία T1 ακολουθία. (ALL=πρόσθιος επιμήκης σύνδεσμος, PLL=οπίσθιος επιμήκης σύνδεσμος, LF=ωχρός σύνδεσμος, SSL=επακάνθιος σύνδεσμος) [3].

- Απεικονιστική Ανατομία ΟΜΣΣ

Η οσφυϊκή λόρδωση είναι πιο έντονη από την αυχενική και προκύπτει από το συνδυασμό σφηνοειδούς σχήματος τόσο των μεσοσπονδύλιων δίσκων όσο και των σπονδυλικών σωμάτων. Τα σπονδυλικά σώματα είναι μεγαλύτερα στην πλαγιοπλάγια διάσταση παρά στην προσθιοπίσθια. Σε εγκάρσια διατομή, τα σπονδυλικά σώματα Ο1-4 έχουν μια ραχιαία κοίλανση που τους προσδίδει νεφροειδή διαμόρφωση [3].

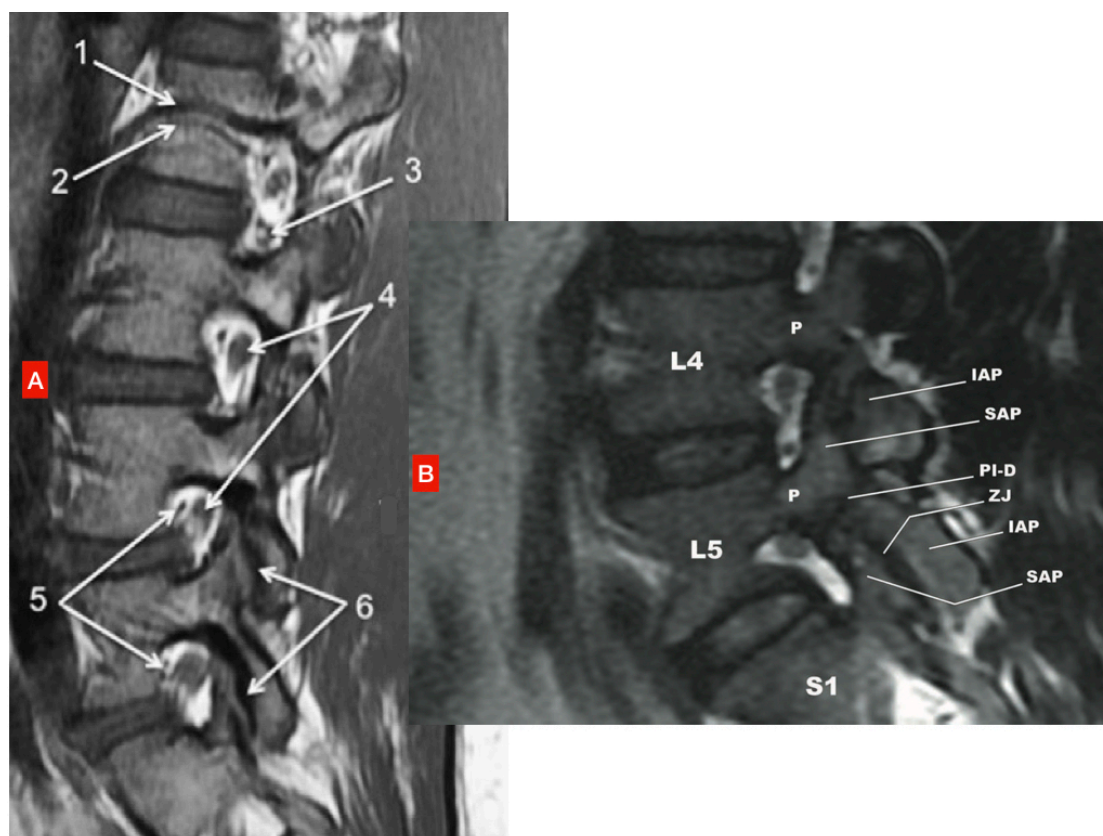
Οι οσφυϊκοί μίσχοι είναι βραχύτεροι σε σχέση με τους θωρακικούς. Το πλάτος τους είναι μικρότερο από το ύψος τους και αυξάνει από τον Ο1 προς τον Ο5. Ξεκινούν από πιο οπίσθια θέση στο σπονδυλικό σώμα σε σχέση με τους θωρακικούς μίσχους και κατά συνέπεια σχηματίζουν ρηχές άνω σπονδυλικές εντομές. Οι εγκάρσιες αποφύσεις είναι επίπεδες, προσανατολισμένες στο μετωπιαίο επίπεδο με μικρή οπισθοπλάγια γωνίωση. Αυξάνονται σε μήκος από τον Ο 1 προς τον Ο 3 και ξαναυποστρέφουν στον Ο 4 κι Ο5 . Στην οπίσθια

επιφάνεια τους εμφανίζουν το επικουρικό φύμα και το θηλώδες φύμα, όπου προσφύονται ο μήκιστος θωρακικός και ο έσω μεσεγκάρσιος οσφυϊκός μυς [2,3].

Η οστική γέφυρα ανάμεσα στις άνω και κάτω αρθρικές αποφύσεις καλείται ισθμός (pars interarticularis). Η αύξηση της πυκνότητας των οστικών δοκίδων στους Ο4 και Ο5 μίσχους υποδηλώνει αυξημένα φορτία στους ισθμούς σε αυτά τα επίπεδα. Επίσης, ο φλοιός των πετάλων είναι πιο πυκνός στην περιοχή του ισθμού. Παρά την ενίσχυση της δομής τους, κατάγματα (ελλείμματα) των ισθμών είναι συχνά στον Ο5 (85-95%) και δευτερευόντως στον Ο4 (5-15%). Το έλλειμμα στον ισθμό είναι φανερό σαν ασυνέχεια στις παραοβελιαίες τομές [52].

Όσο προχωράμε ουραία στην οσφυϊκή μοίρα, η γωνία των ζυγοαποφυσιακών αρθρώσεων με το οβελιαίο επίπεδο μειώνεται από 137° στο Ο1 επίπεδο σε 115° στο Ο5 επίπεδο. Η γωνία με το εγκάρσιο επίπεδο αυξάνεται ελαφρά από 75° σε 80° στην οσφυϊκή μοίρα [45]. Επιτρέπεται κατά συνέπεια μεγάλο εύρος κίνησης στην οσφυϊκή μοίρα και συγκεκριμένα πρόσθια κάμψη 60°, έκταση 25° και πλάγια κάμψη 25°. Παρόλα αυτά, περιορίζονται σημαντικά οι στροφικές κινήσεις στην οσφυϊκή μοίρα. Οι ζυγοαποφυσιακές αρθρώσεις στην Τ1 ακολουθεί απεικονίζονται σαν γραμμοειδείς δομές ενδιάμεσου σήματος λόγω της παρουσίας υαλοειδούς χόνδρου και αρθρικού υγρού [3,46].

Στις οβελιαίες τομές τα μεσοσπονδύλια τρήματα στην οσφυϊκή μοίρα απεικονίζονται ευκρινώς, καθώς κατευθύνονται εντελώς προς τα έξω χωρίς γωνία με το οβελιαίο επίπεδο, σε αντίθεση με τα αντίστοιχα τρήματα στην αυχενική μοίρα που έχουν προσθιοπλάγιο προσανατολισμό. Οι νευρικές ρίζες και τα ραχιαία γάγγλια καταλαμβάνουν το άνω μέρος του τρήματος και απεικονίζονται σαν δομές χαμηλού σήματος περιβαλλόμενες από λίπος υψηλού σήματος στις Τ1 ακολουθίες. Οι επισκληρίδιες φλέβες απεικονίζονται σαν «κενά» σήματος άνωθεν και έμπροσθεν από τα νεύρα. Κάθε μεσοσπονδύλιο τρήμα μπορεί να χωριστεί σε άνω και κάτω τμήμα. Στο άνω τμήμα εμπεριέχονται το ραχιαίο γάγγλιο, οι φλέβες και το επισκληρίδιο λίπος και στο κάτω τμήμα τα νεύρα, τα οποία πορεύονται κάτωθεν του επιπέδου του δίσκου κοντά στις άνω αρθρικές αποφύσεις (εικόνα 26)[53].



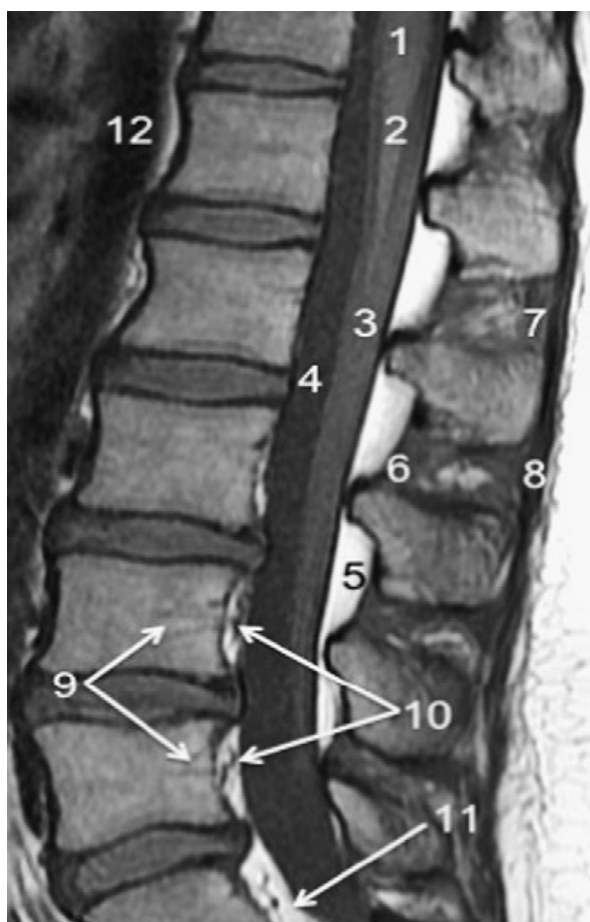
Εικόνα 26 Α) Παραοβελιαία τομή T1 ακολουθίας, οσφυϊκή μοίρα. 1= οσφυϊκή φλέβα, 2= οσφυϊκή αρτηρία 3=άνω φλέβες τρήματος, 4= ραχιαίο γάγγλιο, 5= άνω φλέβες τρήματος, 6=ζυγοαποφυσιακές αρθρώσεις). Β) Ισθμικό έλλειμμα στον Ο5(IAP=κάτω αρθρική απόφυση, SAP=άνω αρθρική απόφυση, P=μίσχος, PI-D=ισθμικό έλλειμμα, ZJ=ζυγοαποφυσιακή άρθρωση

Οι ακανθώδεις αποφύσεις στην οσφυϊκή μοίρα είναι ευρείες, πλατιές, τριγωνικές και προβάλλουν ευθέως προς τα πίσω. Μειώνονται σε μέγεθος από τον Ο 1 προς τον Ο 4. Η Ο 5 ακανθώδης απόφυση είναι τυπικά σημαντικά μικρότερη, προβάλλει ελαφρά προς τα κάτω και συχνά εμφανίζει τριγωνική απόληξη.

Ο πρόσθιος επιμήκης σύνδεσμος στην οσφυϊκή μοίρα εμφανίζει τη μεγαλύτερη δύναμη τάσης του. Μοναδικό χαρακτηριστικό του είναι ότι αποπλατύνεται στο ύψος του μεσοσπονδύλιου διαστήματος και στενεύει ανάμεσα στα διαστήματα, χαρακτηριστικό σε κεφαλοουραία κατεύθυνση αρχίζει και φθίνει. Ο οπίσθιος επιμήκης σύνδεσμος αποτελείται από δύο στρώματα. Το επιφανειακό στρώμα σχηματίζει επιμήκη δεσμίδα που εκτείνεται για αρκετά σπονδυλικά επίπεδα. Οι εν τω βάθει ίνες είναι βραχείες και εκτείνονται στο όριο του οπίσθιου ινώδους δακτυλίου κάθε επιπέδου. Οι ωχροί σύνδεσμοι συνέχονται μεταξύ τους στη μέση γραμμή και η προσθιοπίσθια διάμετρος τους είναι μέγιστη στην οσφυϊκή μοίρα. Η έσω μοίρα τους είναι παχύτερη από την έξω μοίρα τους που σχηματίζει τον πρόσθιο θύλακο των ζυγοαποφυσιακών αρθρώσεων. Οι διαστάσεις του σπονδυλικού σωλήνα μειώνονται με τα αξονικά φορτία κυρίως λόγω διόγκωσης των ωχρών συνδέσμων και λιγότερο

λόγω της διόγκωσης των μεσοσπονδύλιων δίσκων. Οι επακάνθιοι σύνδεσμοι είναι καλά σχηματισμένοι στην ανώτερη οσφυϊκή μοίρα, αλλά σπάνια εκτείνεται πέραν του Ο4. Περιφερικότερα του επιπέδου αυτού, συνεχεται με τις ίνες της θωρακοοσφυϊκής περιτονίας και της απονεύρωσης των μήκιστων μυών.

Το οπίσθιο επισκληρίδιο λίπος είναι εμφανές σε όλο το μήκος της σπονδυλικής στήλης, ωστόσο το πρόσθιο επισκληρίδιο λίπος γίνεται εμφανές κυρίως στην κατώτερη οσφυϊκή μοίρα [54]. Σε T1 και T2 ακολουθία, το δίκτυο των οπισθοσωματικών φλεβών (πλέγμα του Batson) είναι εμφανές στις μέσες οβελιαίες τομές σαν υψηλό σήμα στο οπίσθιο τμήμα του σπονδυλικού σώματος, χάρη στο λίπος που περιβάλλει τη φλέβα (εικόνα 27) [55].



Εικόνα 27 Μέση οβελιαία τομή σε T1 ακολουθία. 1=νωτιαίος μυελός, 2=μυελικός κώνος, 3= ιππουρίδα, 4=υπαρχνοειδής χώρος, 5=οπίσθιο επισκληρίδιο λίπος, 6=ωχρός σύνδεσμος, 7=μεσασκάνθιος σύνδεσμος, 8=επακάνθιος σύνδεσμος, 9=δίκτυο οπισθοσωματικών φλεβών, 10=επισκληρίδιο φλεβικό δίκτυο, 11=πρόσθιο επισκληρίδιο λίπος, 12=αορτή [46].

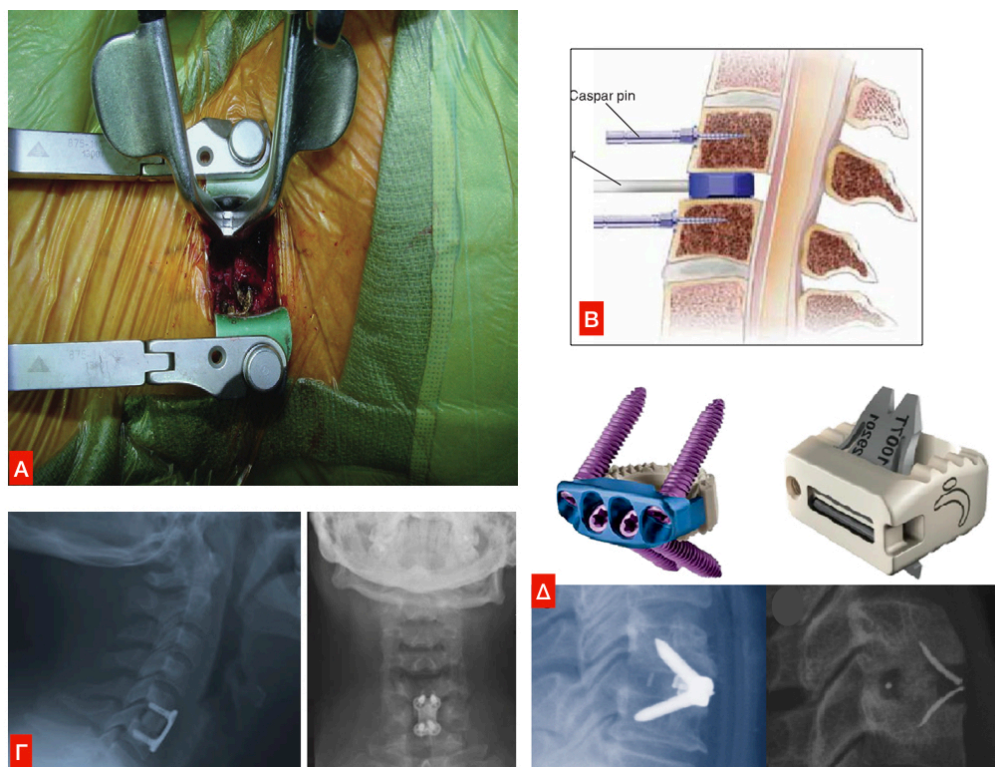
6. Χειρουργικές ενδείξεις και εγχειρητικές τεχνικές

Οι ενδείξεις για χειρουργική θεραπεία της αυχενικής ριζοπάθειας ως αποτέλεσμα δομικών εκφυλιστικών διεργασιών δεν έχουν μεταβληθεί με το πέρασμα των ετών, παρά την πρόοδο σε τεχνικές και υλικά. Οι πιο ευρέως διαδεδομένες ενδείξεις είναι [21]:

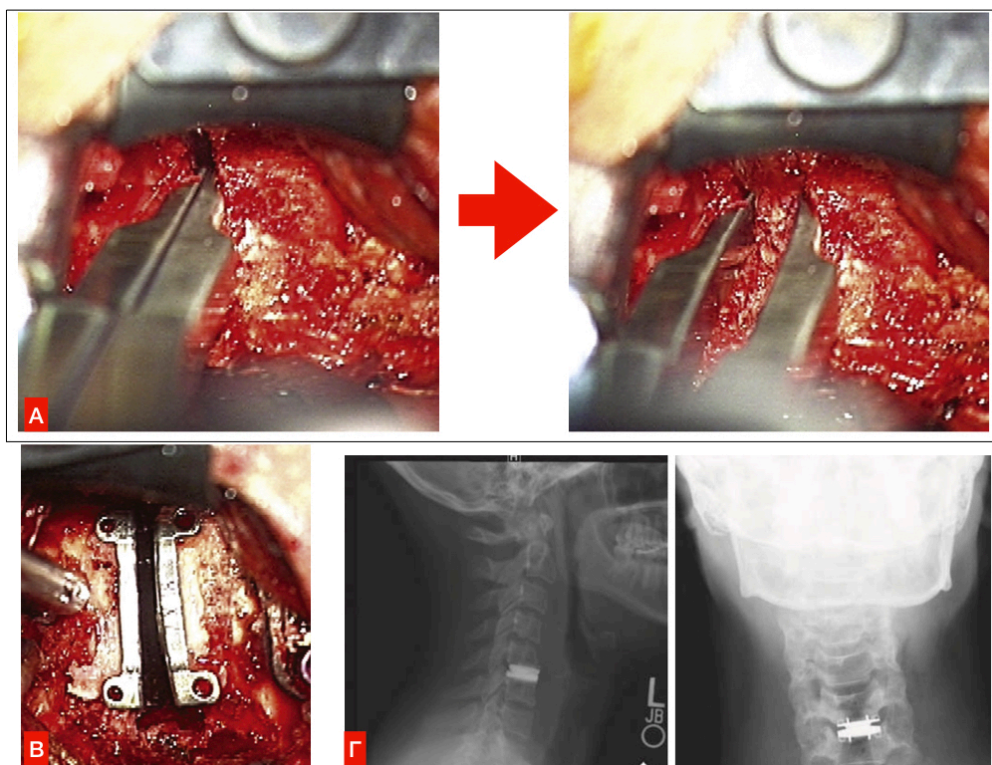
- Εμμένον άλγος άνω άκρου που δεν ανταποκρίνεται στη συντηρητική θεραπεία (3 μήνες)
- προοδευτικό νευρολογικό έλλειμμα
- σταθερό νευρολογικό έλλειμμα με σοβαρό ριζιτικό πόνο
- και απεικονιστικές εξετάσεις συμβατές με τα κλινικά ευρήματα του ασθενή

Η επέμβαση που χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο στις ανωτέρω ενδείξεις είναι η πρόσθια αυχενική δισκεκτομή και σπονδυλοδεσία (anterior discectomy and fusion – ACDF) και η ολική αντικατάσταση δίσκου (total disc replacement – TDR). Κατά τη διάρκεια της ACDF, πρώτα αφαιρείται το πρόσθιο τμήμα του δίσκου και απαιτείται περίπου αφαίρεση 50% του δίσκου πριν την εφαρμογή διάταξης για καθαρισμό του υπολείμματος του δίσκου και την αποσυμπίεση των νευρικών ριζών. Κατά τον προεγχειρητικό σχεδιασμό για TDR, η γνώση του ορθού ύψους αναστήλωσης του εκφυλισμένου μεσοσπονδύλιου διαστήματος βοηθά στην επιλογή κατάλληλου μεγέθους τεχνητού δίσκου. Ομοίως με την ACDF, μετά την αφαίρεση του δίσκου, χρησιμοποιείται διάταξη του διαστήματος για αποσυμπίεση και για την τοποθέτηση του εμφυτεύματος ανάλογα με το μέγεθος που επιλέχθηκε προεγχειρητικά (εικόνες 28,29) [21,56].

Η υπερδιάταση μπορεί να οδηγήσει σε τοποθέτηση υπερμεγέθους εμφυτεύματος και σε περιορισμό της κινητικότητας του μεσοσπονδύλιου διαστήματος μετεγχειρητικά. Βιβλιογραφικά, οι τεχνικές διάταξης επαφίονται στην διακριτική ευχέρεια του κάθε χειρουργού, χωρίς να υπάρχει καθορισμένο όριο ή στόχος της διάταξης. Συνήθως η διάταση σταματά όταν οι διατατήρες δεν μπορούν να διατείνουν περαιτέρω το μεσοσπονδύλιο διάστημα. Η διαδικασία της δισκεκτομής ακολουθείται από σπονδυλοδεσία που διατηρεί το διατεταμένο διάστημα με τη χρήση μοσχεύματος/εμφυτεύματος σε ένα ή περισσότερα επίπεδα. Υπάρχουν κι άλλες τεχνικές όπως η πρόσθια αυχενική σωματεκτομή αν η πίεση των ριζών οφείλεται σε παθολογία πίσω από το σπονδυλικό σώμα ή και η ενίσχυση της σπονδυλοδεσίας με πρόσθια πλάκα [1,21,56].



Εικόνα 28 Α) Διεγχειρητική διάταση μεσοσπονδύλιου διαστήματος για βελτίωση της ορατότητας, Β) επιλογή μεγέθους μοσχεύματος διεγχειρητικά. Ο χειρουργός πρέπει να επιλέξει εμφύτευμα που ταιριάζει ακριβώς στο διαθέσιμο χώρο χωρίς να υπερδιατείνει το διάστημα, Γ) μετεγχειρητικές ακτινογραφίες ACDF με πλάκα στο επίπεδο Α5-6, Δ) νεότερα εμφυτεύματα για ACDF χωρίς τη χρήση πλάκας.



Εικόνα 29 Α) διάταση μεσοσπονδύλιου διαστήματος με τη χρήση διατατήρα Cloward, Β) πρόσθια όψη μετά την τελική τοποθέτηση του εμφυτεύματος, Γ) μετεγχειρητικές ακτινογραφίες TDR στο επίπεδο Α5-6.

Οι κήλες μεσοσπονδυλίου δίσκου στη ΘΜΣΣ είναι σπάνιες. Οι ενδείξεις για χειρουργική θεραπεία της θωρακικής δισκικής νόσου είναι [21]:

- προοδευτική μυελοπάθεια
- αδυναμία ή παράλυση κάτω άκρων
- εντερική ή κυστική δυσλειτουργία
- ή ριζιτικό άλγος που δεν ανταποκρίνεται στη συντηρητική θεραπεία.

Η πρόγνωση της χειρουργικής αποσυμπίεσης έχει βελτιωθεί αισθητά τα τελευταία χρόνια με την πρόοδο που έχει σημειωθεί στις χειρουργικές προσπελάσεις και τεχνικές χωρίς χειρισμό του νωτιαίου μυελού. Ανάλογα με την εντόπιση της κήλης (κεντρική ή πλάγια) χρησιμοποιείται αντίστοιχα η πρόσθια διαθωρακική προσπέλαση για πρόσθια δισκεκτομή ή η πλάγια εξωθωρακική προσπέλαση για δισκεκτομή και σπονδυλοδεσία (όπου προκαλείται ιατρογενώς αστάθεια). Και στις επεμβάσεις αυτές δεν είναι σαφώς ορισμένο το όριο διάτασης του μεσοσπονδύλιου διαστήματος [1,21].

Μία από τις διαθέσιμες επιλογές για τη θεραπεία της δισκογενούς οσφυαλγίας, κι εφόσον θεωρείται ότι δημιουργείται τμηματική αστάθεια λόγω καθίζησης του δίσκου και ανεπάρκειας των ζυγοαποφυσιακών αρθρώσεων, είναι η διασωματική σπονδυλοδεσία. Τα αναμενόμενα ανακουφιστικά οφέλη από αυτή την παρέμβαση οφείλονται, παρόμοια με την ACDF, στην εξάλειψη του επώδυνου δίσκου, στη βελτίωση της οβελιαίας ισορροπίας και στην ανασύσταση του μεσοσπονδύλιου διαστήματος, αν και δεν καθορίζεται ποιο ακριβώς θα πρέπει να είναι το επιθυμητό ύψος του μεσοσπονδύλιου διαστήματος και κατά πόσο η υπερ- ή υποδιόρθωση αυτού δημιουργεί θέματα τμηματικής αστάθειας ή και αστοχίας της σπονδυλοδεσίας. Η διόρθωση στην διατρηματική οσφυϊκή διασωματική σπονδυλοδεσία (TLIF) που χρησιμοποιείται ευρύτερα τα τελευταία χρόνια επιτυγχάνεται με τη χρήση διασωματικού κλωβού αντί αυτόλογου μοσχεύματος [57-62]. Η επιλογή του κατάλληλου ύψους για τον κλωβό έχει καίρια σημασία για την κλινική του αποτελεσματικότητα. Ένας υπερμεγέθης κλωβός που προκαλεί υπερδιάταση του μεσοσπονδύλιου διαστήματος προδιαθέτει σε εμφάνιση νόσου παρακείμενου διαστήματος αλλά και θέτει σε κίνδυνο τις νευρικές ρίζες. Ένας μικρός κλωβός που υποδιορθώνει, αποτυγχάνει να αποκαταστήσει την οσφυϊκή λόρδωση και ίσως οδηγήσει και σε μετανάστευση του κλωβού, αστοχία του υλικού και κατά συνέπεια της σπονδυλοδεσίας [63,64]. Εναλλακτική επιλογή θεραπείας αποτελεί η οσφυϊκή TDR, για ασθενείς με εκφύλιση σε ένα διάστημα, συνηθέστερα στα O4-5 ή O5-I1, σε αποτυχία της συντηρητικής θεραπείας πέραν του εξαμήνου [1,21].



Εικόνα 30 TLIF στο επίπεδο O4-5, Α) πλάγια απλή ακτινογραφία, Β) en face απλή ακτινογραφία

Βιβλιογραφία

1. Miller M, Thompson S. Miller's review of Orthopedics, 7th Edition, Philadelphia, Elsevier; 2016. p243-263
2. Platzer W. Color Atlas of Human Anatomy, the locomotor system, 4th Edition, Stuttgart, Thieme; 2004. p36-63
3. Forseen S, Borden N. Imaging anatomy of the human spine: a comprehensive atlas including adjacent structures, New York, Demos Medical; 2016. p55-212
4. Ferguson SJ, Steffen T. Biomechanics of the aging spine. *Eur Spine J*. 2003;2:S97-S103
5. Silva MJ, Keaveny TM, Hayes WC. Load sharing between the shell and centrum in the lumbar vertebral body. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1997;22(2):140-150
6. Sivan SS, Hayes AJ, Wachtel E, Caterson B, Merkher Y, Maroudas A, et al. Biochemical composition and turnover of the extracellular matrix of the normal and degenerate intervertebral disc. *Eur Spine J*. 2014;3:S344-53. doi: 10.1007/s00586-013-2767-8. Epub 2013 Apr 17
7. Urban JP, Winlove CP. Pathophysiology of the intervertebral disc and the challenges for MRI. *J Magn Reson Imaging*. 2007;25:419-432
8. Antoniou J, Steffen T, Nelson F, Winterbottom N, Hollander AP, Poole RA, et al. The human lumbar intervertebral disc: evidence for changes in the biosynthesis and denaturation of the extracellular matrix with growth, maturation, ageing, and degeneration. *J Clin Invest*. 1996;98(4):996-1003
9. Galbusera F, van Rijsbergen M, Ito K, Huyghe JM, Brayda-Bruno M, Wilke HJ. Ageing and degenerative changes of the intervertebral disc and their impact on spinal flexibility. *Eur Spine J*. 2014;3:S324-32. doi: 10.1007/s00586-014-3203-4. Epub 2014 Jan 31
10. Adams MA, Roughley PJ. What is intervertebral disc degeneration, and what causes it? *Spine (Phila Pa 1976)*. 2006;31(18):2151-2161.
11. Han SK, Chen CW, Wierwille J, Chen Y, Hsieh AH. Three dimensional mesoscale analysis of translamellar cross-bridge morphologies in the annulus fibrosus using optical coherence tomography. *J Orthop Res*. 2015;33(3):304-11
12. Schollum ML, Robertson PA, Broom ND. A microstructural investigation of intervertebral disc lamellar connectivity: detailed analysis of the translamellar bridges. *J Anat*. 2009;214(6):805-16
13. Edwards WT, Zheng Y, Ferrara LA, Yuan HA. Structural features and thickness of the vertebral cortex in the thoracolumbar spine. *Spine*. 2001;26: 218-25
14. Bernick S, Cailliet R. Vertebral end-plate changes with aging of human vertebrae. *Spine*. 1982;7:97-102

15. Zhu T, Ai T, Zhang W, Li T, Li X. Segmental quantitative MR imaging analysis of diurnal variation of water content in the lumbar intervertebral discs. *Korean J Radiol.* 2015;16(1):139-45. doi: 10.3348/kjr.2015.16.1.139
16. Horner HA, Urban JP. Volvo Award Winner in Basic Science Studies: Effect of nutrient supply on the viability of cells from the nucleus pulposus of the intervertebral disc. *Spine.* 2001;26:2543-9.
17. Kepler CK, Ponnappan RK, Tannoury CA, Risbud MV, Anderson DG. The molecular basis of intervertebral disc degeneration. *Spine J.* 2013;13(3):318-30
18. Adams MA. Biomechanics of back pain. *Acupunct Med.* 2004;22(4):178-88.
19. Le Huec JC, Saddiki R, Franke J, Rigal J, Aunoble S. Equilibrium of the human body and the gravity line: the basics. *Eur Spine J.* 2011;20 Suppl 5:558-563. doi: 10.1007/s00586-011-1939-7
20. Neidlinger-Wilke C, Galbusera F, Pratsinis H, Mavrogenatou E, Mietsch A, Kletsas D, et al. Mechanical loading of the intervertebral disc: from the macroscopic to the cellular level. *Eur Spine J.* 2014;23 Suppl 3:S333-343. doi: 10.1007/s00586-013-2855-9.
21. Herkowitz HN, Garfin SR, Eismont FJ, Bell GR, Balderston RA. Rothman-Simeone The Spine, 6th edition, Philadelphia, Saunders; 2011. p28-829
22. Magee DJ. Orthopedic physical assessment, 6th edition, St. Louis, Saunders; 2014. p148-222
23. Mavrogenatou E, Angelopoulou MT, Kletsas D. The catabolic effect of TNF α on bovine nucleus pulposus intervertebral disc cells and the restraining role of glucosamine sulfate in the TNF α -mediated up-regulation of MMP-3. *J Orthop Res.* 2014;32(12):1701-7. doi: 10.1002/jor.22725
24. Boos N, Weissbach S, Rohrbach H, Weiler C, Spratt KF, Nerlich AG. Classification of age-related changes in lumbar intervertebral discs: 2002 Volvo Award in basic science. *Spine (Phila Pa 1976).* 2002;27(23):2631-44.
25. Adams MA, Dolan P. Intervertebral disc degeneration: evidence for two distinct phenotypes. *J Anat.* 2012;221(6):497-506.
26. Haefeli M, Kalberer F, Saegesser D, Nerlich AG, Boos N, Paesold G. The course of macroscopic degeneration in the human lumbar intervertebral disc. *Spine (Phila Pa 1976).* 2006;31:1522-1531
27. Teraguchi M, Yoshimura N, Hashizume H, Muraki S, Yamada H, Minamide A, et al. Prevalence and distribution of intervertebral disc degeneration over the entire spine in a population-based cohort: the Wakayama Spine Study. *Osteoarthritis Cartilage.* 2014;22:104-110. doi: 10.1016/j.joca.2013.10.019
28. Griffith JF, Wang YX, Antonio GE, Choi KC, Yu A, Ahuja AT, et al. Modified Pfirrmann grading system for lumbar intervertebral disc degeneration. *Spine (Phila Pa 1976).* 2007;32(24):E708-12.
29. Pfirrmann CW, Metzdorf A, Zanetti M, Hodler J, Boos N. Magnetic resonance classification of lumbar intervertebral disc degeneration. *Spine (Phila Pa 1976).* 2001;26:1873-1878

30. Niu G, Yang J, Wang R, Dang S, Wu EX, Guo Y. MR imaging assessment of lumbar intervertebral disk degeneration and age-related changes: apparent diffusion coefficient versus T2 quantitation. *AJNR Am J Neuroradiol.* 2011;32(9):1617-23. doi: 10.3174/ajnr.A2556
31. Marinelli NL, Haughton VM, Anderson PA. T2 relaxation times correlated with stage of lumbar intervertebral disk degeneration and patient age. *AJNR Am J Neuroradiol.* 2010;31(7):1278-82. doi: 10.3174/ajnr.A2080
32. Modic MT, Steinberg PM, Ross JS. Degenerative disk disease: assessment of changes in vertebral body marrow with MR imaging. *Radiology.* 1988;166:193–199
33. Wang Y, Videman T, Battie MC. Modic changes: prevalence, distribution patterns, and association with age in white men. *Spine J.* 2012;12:411–416
34. Määttä JH, Karppinen J, Paananen M, Bow C, Luk KD, Cheung KM, et al. Refined Phenotyping of Modic Changes: Imaging Biomarkers of Prolonged Severe Low Back Pain and Disability. *Medicine (Baltimore).* 2016;95(22):e3495. doi: 10.1097/MD.00000000000003495
35. Boden S, McCowin P, Davis D. Abnormal magnetic- resonance scans of the lumbar spine in asymptomatic subjects: A prospective investigation. *J Bone Joint Surg Am.* 1990;72:403-408
36. Jensen MC, Brant-Zawadzki MN, Obuchowski N. Magnetic resonance imaging of the lumbar spine in people without back pain. *N Engl J Med.* 1994;331:69-73
37. Borenstein DG, O'Mara JW Jr, Boden SD. The value of magnetic resonance imaging of the lumbar spine to predict low-back pain in asymptomatic subjects: A seven-year follow-up study. *J Bone Joint Surg Am.* 2001;83:1306-1311
38. Danielson B, Willen J. Axially loaded magnetic resonance image of the lumbar spine in asymptomatic individuals. *Spine (Phila Pa 1976).* 2001;26:2601-2606
39. Frobin W, Leivseth G, Biggemann M, Brinckmann P. Vertebral height, disc height, posteroanterior displacement and dens–atlas gap in the cervical spine: precision measurement protocol and normal data. *Clin Biomech.* 2002;17(6):423–31.
40. Abuzayed B, Tutunculer B, Kucukyuruk B, Tuzgen S. Anatomic basis of anterior and posterior instrumentation of the spine: morphometric study. *Surg Radiol Anat.* 2010;32(1):75-85. doi: 10.1007/s00276-009-0545-4.
41. Zibis AH, Mitrousias V, Baxevanidou K, Hantes M, Karachalios T, Arvanitis D. Anatomical variations of the foramen transversarium in cervical vertebrae: findings, review of the literature, and clinical significance during cervical spine surgery. *Eur Spine J.* 2016;25(12):4132-4139.
42. Pait TG, Killefer JA, Arnautovic KI. Surgical anatomy of the anterior cervical spine: the disc space, vertebral artery, and associated bony structures. *Neurosurgery.* 1996;39(4):769–76.

43. Lu J, Ebraheim NA, Yang H, Rollins J, Yeasting RA. Anatomic bases for anterior spinal surgery: surgical anatomy of the cervical vertebral body and disc space. *Surg Radiol Anat.* 1999;21(4):235-9.
44. Mercer S, Jull GA. Morphology of the cervical intervertebral disc: implications for McKenzie's model of the disc derangement syndrome *Man Therap.* 1996;2:76–81.
45. Panjabi MM, Oxland T, Takata K, Goel V, Duranceau J, Krag M. Articular facets of the human spine. Quantitative three-dimensional anatomy. *Spine (Phila Pa 1976).* 1993;18(10):1298-310.
46. Jindal G, Pukenas B. Normal spinal anatomy on magnetic resonance imaging. *Magn Reson Imaging Clin N Am.* 2011;19(3):475-88. doi:10.1016/j.mric.2011.05.013.
47. A. Jay Khanna. *MRI essentials for the spine specialist.* New York, Thieme;2014. p111-203
48. Masharawi Y, Salame K, Mirovsky Y, Peleg S, Dar G, Steinberg N, et al. Vertebral body shape variation in the thoracic and lumbar spine: characterization of its asymmetry and wedging. *Clin Anat.* 2008;21:46–54.
49. Lien SB, Liou NH, Wu SS. Analysis of anatomic morphometry of the pedicles and the safe zone for through-pedicle procedures in the thoracic and lumbar spine. *Eur Spine J.* 2007;16:1215–1222
50. Reicher MA, Gold RH, Halbach VV, Rauschnig W, Wilson GH, Lufkin RB. MR imaging of the lumbar spine: anatomic correlations and the effects of technical variations. *Am J Roentgenol.* 1986;147:891–8.
51. Johnson GM, Zhang M. Regional differences within the human supraspinous and interspinous ligaments: a sheet plastination study. *Eur Spine J.* 2002;11:382–388.
52. Symrou E, Tsitsopoulos PP, Marinopoulos D. Spondylolysis: a review and appraisal. *Hippokratia.* 2010;14(1):17–21.
53. Norman D, Mills CM, Grant-Zawadzki M, Yeates A, Crooks LE, Kaufman L. Magnetic resonance imaging of the spinal cord and canal: potentials and limitations. *AJR Am J Roentgenol* 1983;141:1147–52.
54. Drake RL, Vogl AW, Mitchell AW, Tibbits R, Richardosn P. *Gray's atlas of anatomy.* 2nd edition. Philadelphia, Churchill Livingstone; 2007
55. Breger RK, Williams AL, Daniels DL, Czervionke LF, Mark LP, Haughton VM, et al. Contrast enhancement in spinal MR imaging. *AJNR Am J Neuroradiol.* 1989;10:633–7.
56. *Operative techniques in spine surgery*, editor-in-chief S. Wiesel, Philadelphia, Lippincott Williams&Wilkins; 2013
57. Harris BM, Hilibrand AS, Savas PE, Pellegrino A, Vaccaro AR, Siegler S, et al. Transforaminal lumbar interbody fusion: the effect of various instrumentation techniques on the flexibility of the lumbar spine. *Spine.* 2004 29:E65–70.
58. Hoy K, Bunger C, Niederman B, Helmig P, Hansen ES, Li H, et al. Transforaminal lumbar interbody fusion (TLIF) versus posterolateral

- instrumented fusion (PLF) in degenerative lumbar disorders: a randomized clinical trial with 2-year follow-up. *Eur Spine J.* 2013;22:2022–9.
59. Lauber S, Schulte TL, Liljenqvist U, Halm H, Hackenberg L. Clinical and radiologic 2-4-year results of transforaminal lumbar interbody fusion in degenerative and isthmic spondylolisthesis grades 1 and 2. *Spine.* 2006;31:1693–8.
 60. Pumberger M, Hughes AP, Girardi FP, Gogia J, Kotwal SY, Thaler C, et al. Influence of surgical experience on the efficiency of discectomy in TLIF: a cadaveric testing in 40 levels. *J Spinal Disord Tech.* 2012;25:E254–258.
 61. Rosenberg WS, Mummaneni PV. Transforaminal lumbar interbody fusion: technique, complications, and early results. *Neurosurgery.* 2001;48:569–74.
 62. Zhang Q, Yuan Z, Zhou M, Liu H, Xu Y, Ren Y. A comparison of posterior lumbar interbody fusion and transforaminal lumbar interbody fusion: a literature review and meta-analysis. *BMC Musculoskelet Disord.* 2014;15:367.
 63. Aoki Y, Yamagata M, Nakajima F, Ikeda Y, Shimizu K, Yoshihara M, et al. Examining risk factors for posterior migration of fusion cages following transforaminal lumbar interbody fusion: a possible limitation of unilateral pedicle screw fixation. *J Neurosurg Spine.* 2010;13:381–7.
 64. Uzi EA, Dabby D, Tolessa E, Finkelstein JA. Early retropulsion of titanium-threaded cages after posterior lumbar interbody fusion: a report of two cases. *Spine.* 2001;26:1073–5.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ Β: ΣΚΟΠΟΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Ο σκοπός αυτής της μελέτης είναι η ποσοτικοποίηση των φυσιολογικών ανατομικών σχέσεων των δομών του μεσοσπονδύλιου διαστήματος σε υγιείς μάρτυρες ώστε να δημιουργηθεί μια βάση δεδομένων των απεικονιστικών δεικτών της φυσιολογικής σπονδυλικής μονάδας στην αυχενική (ΑΜΣΣ), θωρακική (ΘΜΣΣ) και οσφυϊκή μοίρα (ΟΜΣΣ) της σπονδυλικής στήλης με τη χρήση μαγνητικής τομογραφίας (MRI). Απώτερος στόχος αποτελεί η χρήση των αποτελεσμάτων της μελέτης στον προεγχειρητικό σχεδιασμό για την εξατομίκευση και ακριβή υπολογισμό του κατάλληλου βαθμού διάτασης του μεσοσπονδύλιου διαστήματος σε χειρουργικές παρεμβάσεις στον κάθε ασθενή. Επιπρόσθετα, με την επιτέλεση MRI ολόκληρης της σπονδυλικής στήλης πριν και μετά την προσθήκη φορτίου 10% του σωματικού βάρους υγιών εθελοντών ποσοτικοποιείται η επίδραση των φορτίων βάρους στην καθημερινή δραστηριότητα στους μεσοσπονδύλιους δίσκους.

Φιλοδοξία της μελέτης αυτής αποτελεί η σύνδεση πειραματικών δεδομένων με σύγχρονες χειρουργικές τεχνικές της σπονδυλοδεσίας, καθώς και η συμβολή στην εξέλιξη τεχνητών εμφυτευμάτων για την αντικατάσταση των δίσκων σε ασθενείς με εκφυλιστικά νοσήματα ή οξέα τραυματικά συμβάντα.

Αναμένεται ότι τα αποτελέσματα της μελέτης αυτής θα προστεθούν σε εκείνα που προϋπάρχουν από τις μέχρι σήμερα μελέτες άλλων διεθνών ερευνητικών κέντρων, συμβάλλοντας έτσι στον εμπλουτισμό της διαγνωστικής εμπειρίας και τη συσχέτιση της κλινικής εικόνας με τα αποτελέσματα αυτά.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ Γ: ΥΛΙΚΟ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΣ

1. Σχεδιασμός μελέτης

1.1 Συλλογή δεδομένων

Α' ΜΕΡΟΣ

Από το ίδιο ακτινοδιαγνωστικό κέντρο, συγκεντρώθηκαν αναδρομικά 500 μαγνητικές τομογραφίες (αυχενικής, θωρακικής, οσφυϊκής μοίρας ή και συνδυασμός τους). Αρχικά έγινε κατηγοριοποίησή τους ανά μοίρα και ηλικία. Στη συνέχεια, ελέγχθηκαν όλες οι εξετάσεις, ώστε να συμπεριληφθούν μόνο αυτές με υγιή όλα τα μεσοσπονδύλια διαστήματα. Ως κριτήρια αποκλεισμού χρησιμοποιήθηκαν: η ύπαρξη σκολίωσης, μεσοσπονδύλιοι δίσκοι με εκφύλιση κατά Pfirrmann σταδίου ΙΙΙ ή μεγαλύτερη, οποιαδήποτε μορφής δισκοκήλη, η ύπαρξη όζων του Schmorl, η εμφάνιση αλλαγών τύπου Modic, η παρουσία συγγενών ανωμαλιών, προηγούμενα σπονδυλικά κατάγματα, η παρουσία όγκων και προηγούμενες χειρουργικές επεμβάσεις. Η αξιολόγηση των MRI έγινε με κοινή συμφωνία by consensus του υποψηφίου διδάκτορα και του επιβλέποντα της διατριβής. Όλες οι MRI διενεργήθηκαν στον ίδιο μαγνητικό τομογράφο. Επελέγησαν οι MRI που πραγματοποιήθηκαν πρωινή ώρα για την αποφυγή διασποράς των μετρήσεων λόγω της ημερήσιας διακύμανσης της αφυδάτωσης και κατά συνέπεια απώλειας του ύψους του δίσκου στην πορεία του 24ώρου. Τελικά συγκεντρώθηκαν 40 MRI ΑΜΣΣ, 20 MRI ΘΜΣΣ και 51 MRI ΟΜΣΣ και πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις των μεσοσπονδυλίων διαστημάτων.

Για την ΑΜΣΣ, Η μέση ηλικία των 40 μαρτύρων (16 άνδρες – 24 γυναίκες) ήταν τα 27,25 έτη, με εύρος 19-42 και σταθερή απόκλιση τα 6,53 έτη. Διαθέσιμα ήταν τα βιομετρικά στοιχεία 19 εκ των 40 μαρτύρων και υπολογίστηκε ο δείκτης μάζας-σώματος (BMI-body mass index). Για τη ΘΜΣΣ, η μέση ηλικία των 20 μαρτύρων (16 άνδρες – 24 γυναίκες) ήταν τα 30,3 έτη, με εύρος 19-48 και σταθερή απόκλιση τα 10,19 έτη. Για την ΟΜΣΣ, οι 21 άνδρες και 30 γυναίκες της μελέτης είχαν μέση ηλικία τα 32,29 έτη με κανονική κατανομή των ηλικιών κατά τη δοκιμασία Shapiro-Wilk's (πίνακας 1).

Πίνακας 1: Δημογραφικά στοιχεία

Δείγμα	Μέση ηλικία (έτη)	Εύρος (έτη)	Σταθερή απόκλιση (έτη)
ΑΜΣΣ N=40, 16 άνδρες- 24 γυναίκες	27.25	19-42	6.53
ΟΜΣΣ N=51 21 άνδρες - 30 γυναίκες	32.29	19-54	8.13
ΘΜΣΣ N=20, 8 άνδρες – 12 γυναίκες	30.3	19-48	10.19

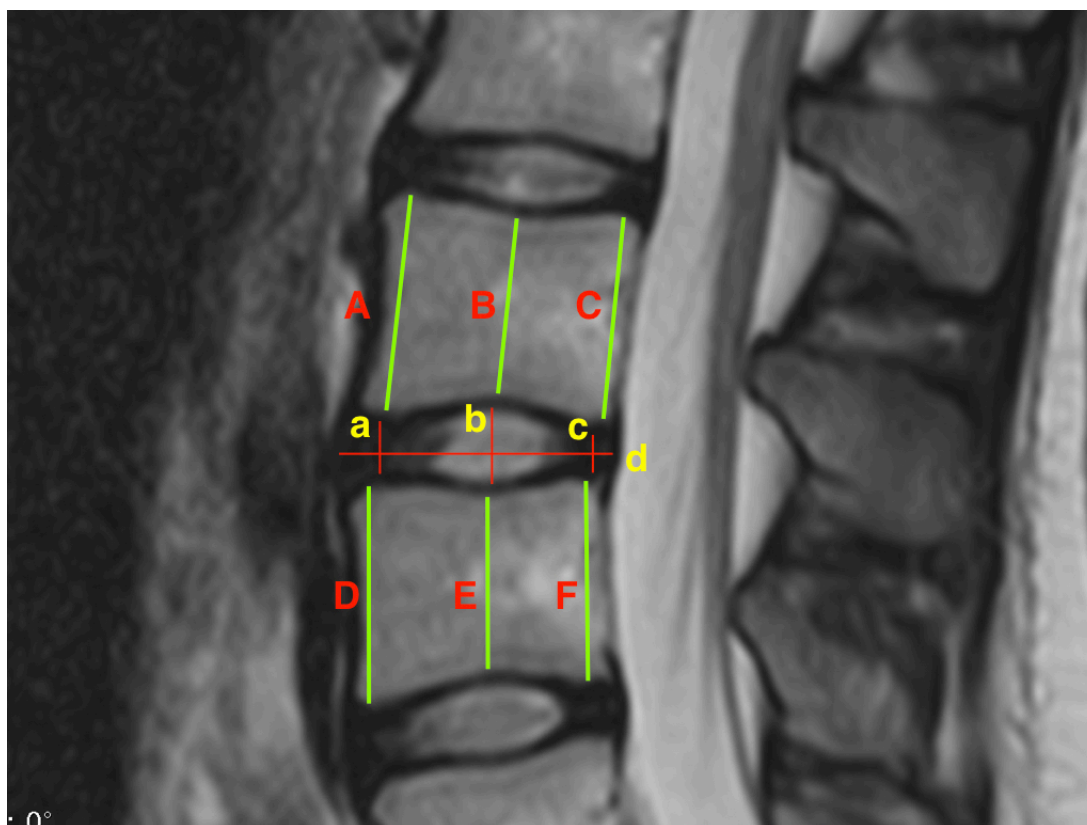
Μετρήθηκαν στις μέσες οβελιαίες τομές σε T2 ακολουθία.:

- το πρόσθιο, μεσαίο και οπίσθιο ύψος των μεσοσπονδύλιων δίσκων και των σπονδυλικών σωμάτων
- η προσθιοπίσθια διάμετρος του δίσκου

Με τη βοήθεια των μετρήσεων αυτών, υπολογίστηκαν οι απεικονιστικοί δείκτες:

- δείκτης ύψους δίσκου ($DHI=2 \times \frac{a+b+c}{A+B+C+D+E+F}$)
- δείκτης κυρτότητας δίσκου ($=\frac{2b}{a+c}$)
- το μέσο ύψος του δίσκου ($=\frac{a+b+c}{3}$)
- το μέσο πρόσθιο και οπίσθιο ύψος και η μέση διάμετρος του δίσκου (εικόνα 31, πίνακας 2).

Ο δείκτης DHI βοηθά στην ελαχιστοποίηση των διαφορών μεταξύ των υποκείμενων σε ότι αφορά τη σπονδυλική στήλη ώστε να είναι δυνατή η επεξεργασία όλων των δεδομένων ατόμων με διαφορετικά βιομετρικά στοιχεία και συσχετίζει το ύψος του δίσκου με το ύψος του σπονδυλικού σώματος [1].



Εικόνα 31 Παράδειγμα μετρήσεων σε σπονδυλική μονάδα οσφυϊκής μοίρας (A,D=πρόσθιο σπονδυλικό ύψος, B,E=μεσαίο σπονδυλικό ύψος, C,F=οπίσθιο σπονδυλικό ύψος, a=πρόσθιο ύψος δίσκου, b=μεσαίο ύψος δίσκου, c=οπίσθιο ύψος δίσκου)

Πίνακας 2: Υπολογισμός ακτινολογικών δεικτών

Δείκτης	Υπολογισμός
Disc height index (DHI)	$2 \times \frac{a+b+c}{A+B+C+D+E+F}$
Δείκτης κυρτότητας δίσκου	$\frac{2b}{a+c}$
Μέσο ύψος δίσκου	$\frac{a+b+c}{3}$

Η συμφωνία των μετρήσεων μεταξύ παρατηρητών και μεταξύ των μετρήσεων του ίδιου παρατηρητή εξετάστηκε κατά τη μελέτη της ΟΜΣΣ με σκοπό την προέκταση των αποτελεσμάτων και για τη μελέτη των υπόλοιπων MRI. Πριν την έναρξη της δοκιμασίας, κάθε παρατηρητής εφοδιάστηκε με την εργασία από τον Pfirrmann και συνεργάτες [2]. Στη συνέχεια κάθε παρατηρητής έκανε τις μετρήσεις σε 10 διαφορετικές μαγνητικές ανεξάρτητα, οι μετρήσεις συγκεντρώθηκαν και επιτεύχθηκε συναίνεση σε ότι αφορά τη διαδικασία των μετρήσεων που θα ακολουθούσαν. Διαφορές σε ότι αφορά τον τεχνικό εξοπλισμό (πχ διαφορετική ανάλυση και μέγεθος

οθόνης) ελαχιστοποιήθηκαν με τη χρήση του ίδιου ακτινολογικού υπολογιστικού σταθμού. Κάθε παρατηρητής έκανε τις μετρήσεις του ανεξάρτητα. Στην ανάλυση της συμφωνίας μεταξύ του ίδιου παρατηρητή, ο κάθε παρατηρητής δεν είχε πρόσβαση στις προηγούμενες μετρήσεις του και υπήρχε διάλειμμα επτά ημερών μεταξύ των πρώτων και δευτέρων μετρήσεων. Για την εκτίμηση της συμφωνίας μεταξύ των δύο παρατηρητών, 406 μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε 53 σπονδυλικά σώματα και 50 μεσοσπονδύλιους δίσκους, δύο φορές (10 υποκείμενα που μετρήθηκαν δύο φορές με διαφορά μιας εβδομάδας). Για την εκτίμηση της συμφωνίας μεταξύ του ίδιου παρατηρητή, 360 μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε 48 σπονδυλικά σώματα και 43 μεσοσπονδύλιους δίσκους, δύο φορές (10 υποκείμενα που μετρήθηκαν δύο φορές). Ο διαδειγματικός συντελεστής συσχέτισης (intraclass correlation coefficient – ICC) και τα όρια συμφωνίας 95% κατά Bland&Altman χρησιμοποιήθηκαν για την ποσοτική εξακρίβωση της συμφωνίας μεταξύ δύο παρατηρητών και μεταξύ του ίδιου παρατηρητή. Όλες οι στατιστικές αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν με το λογισμικό SPSS v21.

Β' ΜΕΡΟΣ

Μετά το πέρας των μετρήσεων αυτών, ξεκίνησε η προοπτική μελέτη της επίδρασης του φυσιολογικού βάρους σακιδίου ράχης (backpack, εικόνα 32) σε 10 υγιείς μάρτυρες εθελοντές (πίνακας 3). Αρχικά, πραγματοποιήθηκε MRI αναφοράς για όλη τη σπονδυλική στήλη πρωινή ώρα ύστερα από 7ωρη βραδινή κατάκλιση. Σε επόμενη ημερομηνία, δόθηκε σακίδιο με βαρίδια ισόποσα με 10% του σωματικού βάρους του κάθε εθελοντή. Κάθε εθελοντής ακολούθησε κανονικά τη ρουτίνα του (καθιστή θέση, όρθια θέση, βάδιση) με τη διαφορά ότι φορούσε το σακίδιο. Η εφαρμογή του βάρους γινόταν στις 09:00πμ και για 6 ώρες. Εν συνεχεία, πραγματοποιούνταν MRI σε όλη τη σπονδυλική στήλη. Χρησιμοποιήθηκαν τα ίδια κριτήρια αποκλεισμού με την προηγούμενη μεθοδολογία. Το ύψος του κάθε εθελοντή μετρήθηκε το πρωί πριν την εφαρμογή βάρους και το απόγευμα μετά το πέρας της MRI, και επαναλήφθηκε ακριβώς τις ίδιες ώρες την αμέσως επόμενη ημέρα χωρίς την εφαρμογή βάρους. Μετρήθηκαν το πρόσθιο, μεσαίο και οπίσθιο ύψος κάθε μεσοσπονδύλιου δίσκου από A7-Θ1 έως O5-I1.



Εικόνα 32 Σακίδιο με βάρος Α)πρόσθια άποψη, Β)οπίσθια άποψη.

Πίνακας 3: Δημογραφικά στοιχεία

Δείγμα	Ηλικία (έτη) (σταθερή απόκλιση)	Ύψος (cm) (σταθερή απόκλιση)	Βάρος (kg)
N=10 (5 άνδρες, 5 γυναίκες)	21,9 (2,4) εύρος 18-28	172,8 (7.5) εύρος 155-183	76.1 (18) εύρος 50-106

1.2 Πρωτόκολλο μαγνητικής τομογραφίας

Το πρωτόκολλο μαγνητικής τομογραφίας περιλάμβανε σαρωτή 1,5T (PHILIPS, NL) και οβελιαίες τομές συχνότητας παλμού T2W (TR-3000-4000msec, TE-115msec, με πάχος τομής 4mm,/Gap-0.4, matrix-220x232 FOV-FH-275mm). Όλες οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε οβελιαίες τομές T2W στο λογισμικό OsiriX suite για υπολογιστές Mac.

1.3 Στατιστική επεξεργασία

Α' ΜΕΡΟΣ: Έγινε στατιστική ανάλυση του δείγματος μετρήσεων με ανάλυση διακύμανσης (ANOVA) και συγκρίθηκαν μεταξύ τους οι μέσες τιμές του DHI κάθε διαστήματος, οι μέσες τιμές της διαμέτρου, του μέσου ύψους, του πρόσθιου και οπίσθιου ύψους και του δείκτη κυρτότητας δίσκου από κάθε σπονδυλικό επίπεδο. Στη

συνέχεια, συγκρίθηκαν οι μετρήσεις κάθε διαστήματος με το αμέσως επόμενο χρησιμοποιώντας Student's independent samples t-test και στη συνέχεια τη διόρθωση Bonferroni θεωρώντας ως επίπεδο σημαντικότητας $p=0.01$. Επίσης χρησιμοποιήθηκε απλή γραμμική παλινδρόμηση για να εξακριβωθεί αν το ύψος του προηγούμενου διαστήματος μπορούσε να προβλέψει τη διακύμανση του ύψους του επόμενου διαστήματος και έτσι να διαμορφωθούν απλές εξισώσεις για την πρόβλεψη του μεσοσπονδύλιου ύψους του δίσκου όταν είναι γνωστό το ύψος του προηγούμενου διαστήματος. Τέλος, μελετήθηκε η επίδραση του φύλου, της ηλικίας και του ύψους του ατόμου στο μέσο ύψος του δίσκου σε κάθε επίπεδο χρησιμοποιώντας πολλαπλή παλινδρόμηση.

B' ΜΕΡΟΣ: Συγκρίθηκαν οι μετρήσεις μεταξύ πρωινού και απογεύματος με τη χρήση paired samples Student's t-test.

Όλες οι στατιστικές αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν με το λογισμικό SPSS v21 και Microsoft Excel 2015 for Mac.

Βιβλιογραφία

1. Jarman JP, Arpinar VE, Baruah D, Klein AP, Maiman DJ, Tugan Muftuler L. Intervertebral disc height loss demonstrates the threshold of major pathological changes during degeneration. Eur Spine J. 2015;24:1944-1950.
2. Pfirrmann CW, Metzdorf A, Zanetti M, Hodler J, Boos N. Magnetic resonance classification of lumbar intervertebral disc degeneration. Spine (Phila Pa 1976). 2001;26:1873-1878.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ Δ: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

1. Αυχενική μοίρα

Δείγμα	Μέση ηλικία (έτη)	Εύρος (έτη)	Σταθερή απόκλιση (έτη)
ΑΜΣΣ N=40, 16 άνδρες- 24 γυναίκες	27.25	19-42	6.53

Συγκρίνοντας το μέσο και το πρόσθιο ύψος του δίσκου στα διάφορα επίπεδα

- το μέσο και πρόσθιο ύψος του A6-7 διαστήματος ήταν σημαντικά μεγαλύτερο από το μέσο και πρόσθιο ύψος του A3-4 ($p<0.01$, $p<0.0001$), του A4-5 ($p<0.01$, $p<0.01$) και του A7-Θ1 ($p<0.001$, $p<0.01$), αλλά όχι και από το A5-6 ($p=0.3$, $p=0.6$).
- Το μέσο ύψος του A5-6 ήταν σημαντικά μεγαλύτερο από το μέσο ύψος του A3-4 ($p=0.01$) και του A7-Θ1 ($p<0.01$), αλλά όχι και από αυτό του A4-5 ($p=0.05$).
- Το πρόσθιο ύψος του A5-6 ήταν σημαντικά μεγαλύτερο από το A3-4 ($p<0.001$) και από το A7-Θ1 ($p<0.01$) (πίνακας 4).

Συγκρίνοντας τα μεσαία ύψη, το μεσαίο ύψος του A6-7 ήταν σημαντικά μεγαλύτερο από όλα τα υπόλοιπα ύψη ($p<0.01$) (πίνακας 4).

Συγκρίνοντας τα οπίσθια ύψη, οι τιμές φαίνεται να αυξάνονται από το A3-4 προς το A5-6, ενώ στη συνέχεια έχουν συνεχώς πτωτική πορεία στο A6-7 και το Θ1. Το οπίσθιο ύψος του A5-6 ήταν σημαντικά μεγαλύτερο του A7-Θ1 ($p<0.001$) (πίνακας 4).

Το μοντέλο πολλαπλής παλινδρόμησης για την επίδραση του φύλου και της ηλικίας στο μέσο ύψος στο συνολικό δείγμα ήταν στατιστικά σημαντικό για τα διαστήματα A5-6, A6-7 και A7-Θ1, αλλά μόνο για την επίδραση του φύλου.

Το μοντέλο πολλαπλής παλινδρόμησης για την επίδραση του φύλου και της ηλικίας και του αναστήματος στο μέσο ύψος στο δείγμα όπου τα βιομετρικά στοιχεία ήταν διαθέσιμα ήταν στατιστικά σημαντικό μόνο για το διάστημα A6-7 ($p<0.05$), και ο μόνος παράγοντας που επηρέαζε σημαντικά ήταν το ανάστημα.

Δημιουργήθηκε συγκεντρωτικός πίνακας των μέσων μετρήσεων με σκοπό τη δημιουργία βάσης δεδομένων για μελλοντική παραπομπή, ενώ στον πίνακα συμπληρώνονται μετρήσεις του κάθε επιπέδου από τη βιβλιογραφία (πίνακας 4).

- Η τιμή του δείκτη DHI αυξάνεται από το A3-4 προς το A5-6 επίπεδο, με μικρή μείωση στο A6-7 επίπεδο, αλλά μειώνεται σημαντικά στο A7-Θ1 επίπεδο ($p < 0,0001$).
- Ο δείκτης κυρτότητας του δίσκου έχει πτωτική πορεία από το A3-4 προς το A5-6, ενώ αυξάνεται κατά στατιστικά σημαντικό τρόπο τόσο στο A6-7 όσο και στο A7-Θ1 σε σχέση με το A5-6. Η τιμή του ήταν πάντα > 1 , γεγονός που υποδηλώνει κυρτό δίσκο. Δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ A6-7 και A7-Θ1 (πίνακας 5).
- Η προσθιοπίσθια διάμετρος προοδευτικά αυξάνεται από το A3-4 προς το A6-7 επίπεδο και στη συνέχεια επέρχεται μια μικρή μείωση στο A7-Θ1, χωρίς όμως η διαφορά ανά διάστημα να φτάσει σε στατιστικά σημαντικό επίπεδο (πίνακας 4).

Έγινε σύγκριση των τιμών του μέσου ύψους δίσκου και του DHI μεταξύ των φύλων (ανάμεσα στις δύο ομάδες οι ηλικίες δεν διέφεραν με στατιστικά σημαντικό τρόπο).

- Το μέσο ύψος διαφέρει με στατιστικά σημαντικό τρόπο στα διαστήματα A5-6, A6-7 και A7-Θ1 (υπερτερεί το ανδρικό φύλο) και φαίνεται να ακολουθεί το μοτίβο αύξησης από το A3-4 ως το A6-7 που ακολουθείται από μείωση στο A7-Θ1.
- Ο δείκτης DHI δεν διέφερε ανάμεσα στα δύο φύλα στα διάφορα επίπεδα (πίνακας 6).

Έγινε προσπάθεια να εκφραστεί το μέσο ύψος κάθε μεσοσπονδύλιου διαστήματος ως απλή πρωτοβάθμια συνάρτηση τύπου $y = a + b \cdot x$, όπου εξαρτημένη μεταβλητή y είναι το ζητούμενο ύψος και ανεξάρτητη μεταβλητή x είναι το ύψος του αμέσως προηγούμενου διαστήματος. Χρησιμοποιώντας απλή γραμμική παλινδρόμηση, βρέθηκε ότι για κάθε διάστημα από τα A4-5, A5-6, A6-7 και A7-Θ1, το μοντέλο παλινδρόμησης ήταν σημαντικό ($p < 0,0005$). Κατά συνέπεια διαμορφώνονται εξισώσεις πρόβλεψης (πίνακας 7). R^2 είναι ο συντελεστής προσδιορισμού με εύρος τιμών από 0 έως 1, και όσο αυξάνεται η τιμή του τόσο περισσότερο θεωρείται ότι ταιριάζει η πρόβλεψη των τιμών της εξαρτημένης μεταβλητής από το μοντέλο παλινδρόμησης.

Πίνακας 4: Αποτελέσματα μέσου, πρόσθιου, μεσαίου και οπίσθιου ύψους, και προσθιοπίσθιας διαμέτρου δίσκου στην ΑΜΣΣ, και σύγκριση με βιβλιογραφικά δεδομένα [1-6].

Επίπεδο	Μέσο ύψος δίσκου (cm) (βιβλιογραφικά δεδομένα)		Πρόσθιο ύψος δίσκου (cm) (βιβλιογραφικά δεδομένα)		Μεσαίο ύψος Δίσκου (cm) (βιβλιογραφικά δεδομένα)		Οπίσθιο ύψος δίσκου (cm) (βιβλιογραφικά δεδομένα)		Προσθιοπίσθια διάμετρος δίσκου (cm)
A3-4	0.391	(0.387)	0.343	(0.342)	0.495	(0.454)	0.334	(0.294)	1.521
A4-5	0.397	(0.421)	0.375	(0.328)	0.48	(0.43)	0.334	(0.27)	1.502
A5-6	0.422	(0.385)	0.425	(0.330)	0.496	(0.401)	0.347	(0.284)	1.566
A6-7	0.435	(0.337)	0.435	(0.380)	0.549	(0.463)	0.32	(0.249)	1.625
A7-Θ1	0.383	-	0.381	-	0.481	-	0.287	-	1.59

Πίνακας 5: Τιμές δείκτη DHI και κυρτότητας δίσκου ανά επίπεδο στην ΑΜΣΣ

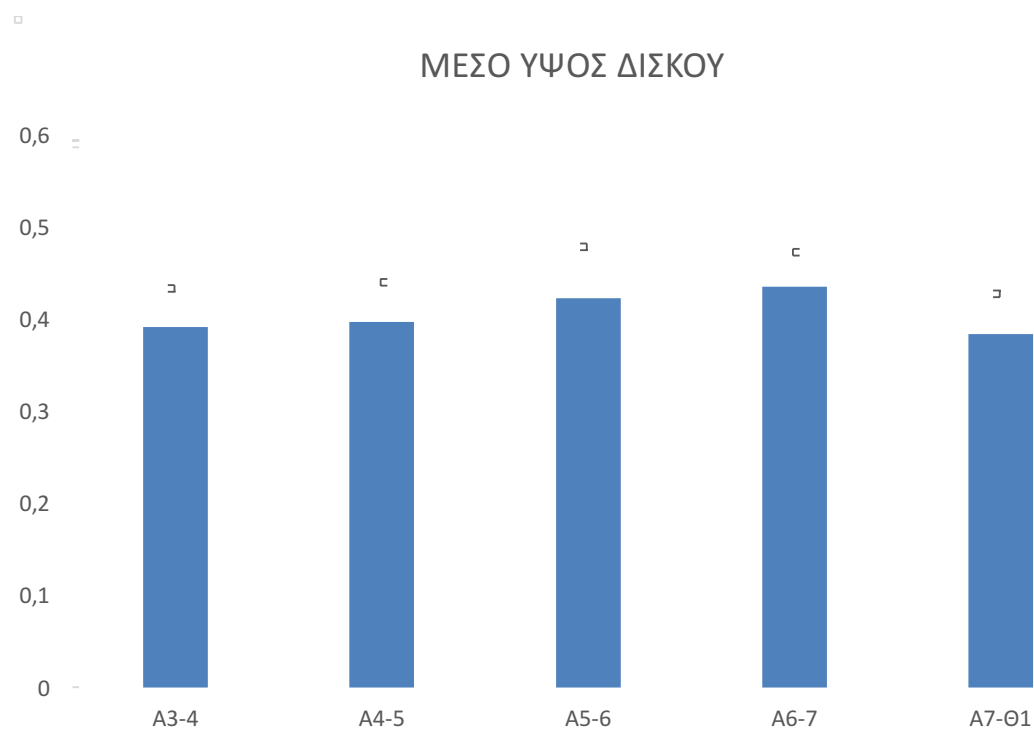
	DHI	Δείκτης κυρτότητας
A3-4	0.342	1.482
A4-5	0.359	1.389
A5-6	0.384	1.301
A6-7	0.368	1.472
A7-Θ1	0.283	1.474

Πίνακας 6: Τιμές δείκτη DHI και μέσου ύψους ανάμεσα στα δύο φύλα στην ΑΜΣΣ

Επίπεδο	DHI άνδρες	DHI γυναίκες	Μέσο ύψος άνδρες (cm)	Μέσο ύψος γυναίκες (cm)
A3-4	0.327	0.352	0.405	0.381
A4-5	0.343	0.394	0.413	0.41
A5-6	0.386	0.383	0.456	0.4
A6-7	0.369	0.367	0.466	0.414
A7-Θ1	0.29	0.265	0.419	0.36

Πίνακας 7: εξισώσεις πρόβλεψης ανά σπονδυλικό επίπεδο στην ΑΜΣΣ

Μέσο ύψος	Εξίσωση πρόβλεψης	R ²
A4-5	$0.12 + 0.7 \cdot A3-4$	0.35
A5-6	$0.12 + 0.76 \cdot A4-5$	0.48
A6-7	$0.18 + 0.6 \cdot A5-6$	0.56
A7-Θ1	$0.13 + 0.58 \cdot A6-7$	0.26



Εικόνα 33 Μέσο ύψος δίσκου (+ σταθερή απόκλιση) ανά επίπεδο στην ΑΜΣΣ

2. Θωρακική μοίρα

Δείγμα	Μέση ηλικία (έτη)	Εύρος (έτη)	Σταθερή απόκλιση (έτη)
ΘΜΣΣ N=20, 8 άνδρες – 12 γυναίκες	30.3	19-48	10.19

Το μέσο, πρόσθιο και μεσαίο ύψος του μεσοσπονδύλιου δίσκου αρχικά μειώνεται από το Θ1-2 διάστημα προς το Θ4-5 και η διαφορά αυτή είναι στατιστικά σημαντική μεταξύ των επιπέδων Θ1-2 και Θ3-4 ($p<0.01$). Στη συνέχεια, και μέχρι το επίπεδο Θ11-12 το μέσο ύψος του δίσκου αυξάνεται, με τη διαφορά να είναι στατιστικά σημαντική ανάμεσα στο Θ3-4 επίπεδο και όλα τα επίπεδα από το Θ7-8 και μετά με ουραία κατεύθυνση. Οι διαφορές ανά γειτονικό επίπεδο δεν ήταν σημαντικές (πίνακας 8).

Το οπίσθιο ύψος του δίσκου παραμένει σχετικά σταθερό στα πρώτα πέντε διαστήματα της θωρακικής μοίρας και εν συνεχεία αρχίζει να αυξάνεται προοδευτικά ανά επίπεδο. Η διαφορά ήταν στατιστικά σημαντική ανάμεσα στο Θ5-6 επίπεδο και όλα τα επίπεδα από το Θ9-10 και μετά με ουραία κατεύθυνση (πίνακας 8).

Στο Θ1-2 διάστημα ο δείκτης DHI έχει τη μεγαλύτερη τιμή του σε σχέση με όλα τα άλλα διαστήματα και η διαφορά είναι στατιστικά σημαντική σε σχέση με τα διαστήματα Θ2-3, Θ3-4, Θ4-5, Θ5-6, Θ6-7 και Θ7-8 ($p<0.05$). Η τιμή του από το Θ2-3 και μετά μειώνεται μέχρι το διάστημα Θ6-7 από το οποίο και μετά προοδευτικά αυξάνεται με ουραία κατεύθυνση. Στ ο διάστημα Θ11-12 είναι σημαντικά μεγαλύτερος από το διάστημα Θ6-7 ($p<0.01$).

Ο δείκτης κυρτότητας παραμένει σχετικά σταθερός μέχρι το Θ4-5 διάστημα, στη συνέχεια καταγράφει στατιστικά σημαντική αύξηση μεταξύ των διαστημάτων Θ4-5 και Θ5-6, ενώ από το σημείο αυτό και έπειτα μειώνεται σταδιακά (πίνακας 9). Η διάμετρος δεν ακολουθεί την τάση που παρατηρείται στο ύψος του δίσκου και είναι ολοένα αυξανόμενη από το Θ1-2 διάστημα έως το Θ11-12 (πίνακας 8).

Σε μοντέλο πολλαπλής παλινδρόμησης, η διακύμανση του μέσου ύψους του δίσκου ανά σπονδυλικό επίπεδο, δε φαίνεται να επηρεάζεται με στατιστικά σημαντικό τρόπο από το φύλο και την ηλικία.

Έγινε προσπάθεια να εκφραστεί το μέσο ύψος κάθε μεσοσπονδύλιου διαστήματος ως απλή συνάρτηση, όπου εξαρτημένη μεταβλητή y είναι το ζητούμενο ύψος και ανεξάρτητη μεταβλητή x είναι το ύψος του αμέσως προηγούμενου διαστήματος. Χρησιμοποιώντας απλή γραμμική παλινδρόμηση, βρέθηκε ότι για κάθε διάστημα στη

ΘΜΣΣ, το μοντέλο παλινδρόμησης ήταν σημαντικό ($p < 0.005$). Κατά συνέπεια διαμορφώνονται εξισώσεις πρόβλεψης.

Πίνακας 8: Αποτελέσματα μέσου, πρόσθιου, μεσαίου και οπίσθιου ύψους, και προσθιοπίσθιας διαμέτρου δίσκου στη ΘΜΣΣ

Επίπεδο	Πρόσθιο ύψος (cm) (σταθερή απόκλιση)	Μεσαίο ύψος (cm) (σταθερή απόκλιση)	Οπίσθιο ύψος (cm) (σταθερή απόκλιση)	Μέσο ύψος (cm) (σταθερή απόκλιση)	Διάμετρος (cm) (σταθερή απόκλιση)
Θ1-2	0.3 (0.056)	0.454 (0.065)	0.298 (0.078)	0.351 (0.054)	1.727 (0.183)
Θ2-3	0.238 (0.046)	0.424 (0.047)	0.305 (0.072)	0.322 (0.044)	1.866 (0.212)
Θ3-4	0.239 (0.067)	0.4 (0.067)	0.287 (0.087)	0.309 (0.05)	2.063 (0.198)
Θ4-5	0.232 (0.066)	0.411 (0.049)	0.295 (0.061)	0.313 (0.044)	2.197 (0.199)
Θ5-6	0.243 (0.068)	0.441 (0.065)	0.29 (0.064)	0.325 (0.05)	2.361 (0.0204)
Θ6-7	0.267 (0.073)	0.471 (0.086)	0.323 (0.065)	0.354 (0.06)	2.53 (0.239)
Θ7-8	0.32 (0.058)	0.506 (0.059)	0.335 (0.1)	0.387 (0.054)	2.657 (0.222)
Θ8-9	0.367 (0.075)	0.509 (0.077)	0.336 (0.078)	0.404 (0.056)	2.812 (0.253)
Θ9-10	0.406 (0.072)	0.564 (0.088)	0.35 (0.084)	0.44 (0.059)	2.895 (0.265)
Θ10-11	0.444 (0.111)	0.585 (0.104)	0.36 (0.087)	0.463 (0.072)	2.938 (0.3)
Θ11-12	0.491 (0.113)	0.619 (0.104)	0.413 (0.081)	0.507 (0.063)	2.952 (0.265)

Πίνακας 9: Τιμές δείκτη DHI και κυρτότητας δίσκου ανά επίπεδο στη ΘΜΣΣ

Επίπεδο	DHI (σταθερή απόκλιση)	Δείκτης κυρτότητας (σταθερή απόκλιση)
Θ1-2	0.241 (0.033)	1.559 (0.302)
Θ2-3	0.21 (0.025)	1.605 (0.305)
Θ3-4	0.195 (0.028)	1.599 (0.462)
Θ4-5	0.191 (0.019)	1.621 (0.361)
Θ5-6	0.193 (0.026)	1.735 (0.474)
Θ6-7	0.205 (0.029)	1.655 (0.403)
Θ7-8	0.22 (0.027)	1.618 (0.404)
Θ8-9	0.222 (0.031)	1.498 (0.31)
Θ9-10	0.23 (0.034)	1.528 (0.287)
Θ10-11	0.226 (0.037)	1.511 (0.345)
Θ11-12	0.231 (0.03)	1.416 (0.358)

Πίνακας 10: εξισώσεις πρόβλεψης ανά σπονδυλικό επίπεδο στη ΘΜΣΣ

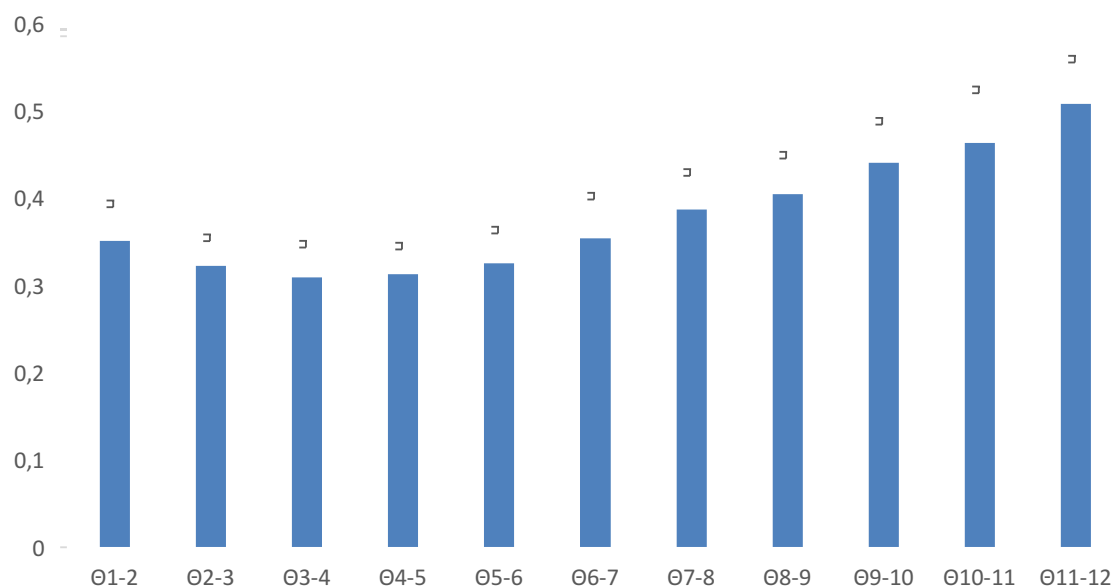
Μέσο ύψος	Εξίσωση πρόβλεψης	R ²
Θ2-3	$0.14 + 0.53 * \Theta 1-2$	0.427
Θ3-4	$0.01 + 0.91 * \Theta 2-3$	0.632
Θ4-5	$0.1 + 0.67 * \Theta 3-3$	0.575
Θ5-6	$0.12 + 0.65 * \Theta 4-5$	0.323
Θ6-7	$0.02 + 1.01 * \Theta 5-6$	0.714
Θ7-8	$0.13 + 0.73 * \Theta 6-7$	0.673
Θ8-9	$0.1 + 0.77 * \Theta 7-8$	0.55
Θ9-10	$0.115 + 0.8 * \Theta 8-9$	0.59
Θ10-11	$0.15 + 0.71 * \Theta 9-10$	0.344
Θ11-12	$03 + 0.44 * \Theta 10-11$	0.253

Πίνακας 11: Αποτελέσματα πρόσθιου και οπίσθιου ύψους δίσκου ανά φύλο και σύγκριση με βιβλιογραφικά δεδομένα [7].

ΑΝΔΡΕΣ	Πρόσθιο ύψος Δίσκου (cm)		Οπίσθιο ύψος δίσκου (cm)	
Θ2-3	0.26	0.27	0.346	0.33
Θ4-5	0.256	0.28	0.354	0.34
Θ6-7	0.299	0.377	0.363	0.37
Θ 8-9	0.355	0.48	0.358	0.4
Θ10-11	0.479	0.553	0.336	0.37
ΓΥΝΑΙΚΕΣ	Πρόσθιο ύψος Δίσκου (cm)		Οπίσθιο ύψος δίσκου (cm)	
Θ2-3	0.223	0.28	0.279	0.32
Θ4-5	0.216	0.273	0.255	0.303
Θ6-7	0.245	0.367	0.296	0.367
Θ 8-9	0.374	0.43	0.321	0.39
Θ10-11	0.431	0.537	0.377	0.397

□

ΜΕΣΟ ΥΨΟΣ ΔΙΣΚΟΥ



Εικόνα 34 Μέσο ύψος δίσκου (+ σταθερή απόκλιση) ανά επίπεδο στη ΘΜΣΣ.

3. Οσφυϊκή μοίρα

Δείγμα	Μέση ηλικία (έτη)	Εύρος (έτη)	Σταθερή απόκλιση (έτη)
ΟΜΣΣ N=51 21 άνδρες - 30 γυναίκες	32.29	19-54	8.13

Το μέσο, πρόσθιο, μεσαίο και οπίσθιο ύψος του δίσκου και ο δείκτης DHI ήταν στατιστικά σημαντικά μεγαλύτερα από το Θ12-O1 προς το O1-2, από το O1-2 στο O2-3, από το O2-3 στο O3-4 και από το O3-4 στο O4-5 ($p<0.01$ σε κάθε σχέση) (πίνακας 12, 15).

Το μοντέλο πολλαπλής παλινδρόμησης για την επίδραση του φύλου και της ηλικίας στο μέσο ύψος στο συνολικό δείγμα ήταν στατιστικά σημαντικό ($p<0.01$) για τα διαστήματα Θ12-O1, O1-2, O2-3, O3-4 και O4-5, αλλά μόνο για την επίδραση του φύλου. Ο δείκτης DHI δεν διέφερε ανάμεσα στα δύο φύλα στα διάφορα επίπεδα με στατιστικά σημαντικό τρόπο (πίνακας 16).

Ο δείκτης κυρτότητας του δίσκου δεν διαφέρει μεταξύ των διαστημάτων Θ12-O1, O1-2, O2-3, αλλά μειώνεται στατιστικά σημαντικά από το O3-4 στο O4-5 ($p<0.01$) (πίνακας 15). Η προσθιοπίσθια διάμετρος αυξάνεται προοδευτικά ουραία στην οσφυϊκή μοίρα, και διαφέρει στατιστικά σημαντικά στα διαστήματα Θ12-O1 με O1-2 ($p<0.05$), και O1-2 με O2-3 ($p<0.05$) (πίνακας 12).

Πίνακας 12: Αποτελέσματα μέσου, πρόσθιου, μεσαίου και οπίσθιου ύψους, και προσθιοπίσθιας διαμέτρου δίσκου στην ΟΜΣΣ

Σπονδυλικό επίπεδο	Πρόσθιο ύψος (cm) (σταθερή απόκλιση)	Μεσαίο ύψος (cm) (σταθερή απόκλιση)	Οπίσθιο ύψος (cm) (σταθερή απόκλιση)	Μέσο ύψος (cm) (σταθερή απόκλιση)	Διάμετρος (cm) (σταθερή απόκλιση)
Θ12-Ο1	0.632 (0.12)	0.755 (0.113)	0.51 (0.109)	0.633 (0.089)	3.191 (0.24)
Ο1-2	0.756 (0.163)	0.908 (0.132)	0.595 (0.101)	0.753 (0.097)	3.368 (0.467)
Ο2-3	0.895 (0.146)	1.07 (0.147)	0.699 (0.207)	0.888 (0.14)	3.623 (0.276)
Ο3-4	1.042 (0.125)	1.169 (0.123)	0.733 (0.122)	0.981 (0.1)	3.682 (0.277)
Ο4-5	1.237 (0.156)	1.207 (0.141)	0.779 (0.131)	1.075 (0.114)	3.732 (0.324)

Πίνακας 13: Σύγκριση τιμών πρόσθιου ύψους δίσκου με βιβλιογραφικά δεδομένα [8].

Σπονδυλικό επίπεδο	Πρόσθιο ύψος (cm)	Πρόσθιο ύψος από Gocmen-Mas et al, N=25, ηλικιακό εύρος 22-49, 13 άνδρες)
Ο1-2	0.756	0.88
Ο2-3	0.895	0.964
Ο3-4	1.042	1.09
Ο4-5	1.237	1.18

Πίνακας 14: Σύγκριση τιμών δείκτη DHI με βιβλιογραφικά δεδομένα [9].

Σπονδυλικό επίπεδο	DHI (σταθερή απόκλιση)	DHI Jarman et al (σταθερή απόκλιση) N=51, μέση ηλικία 32, 32 άνδρες
L1-2	0.307 (0.041)	0.292 (0.039)
L2-3	0.356 (0.054)	0.338 (0.044)
L3-4	0.398 (0.046)	0.367 (0.045)
L4-5	0.449 (0.061)	0.42 (0.056)

Πίνακας 15: Τιμές δείκτη DHI και κυρτότητας δίσκου ανά επίπεδο στην ΟΜΣΣ

Σπονδυλικό επίπεδο	DHI (σταθερή απόκλιση)	Δείκτης κυρτότητας (σταθερή απόκλιση)
Θ12-Ο1	0.270 (0.039)	1.344 (0.22)
Ο1-2	0.307 (0.041)	1.366 (0.226)
Ο2-3	0.356 (0.054)	1.369 (0.213)
Ο3-4	0.398 (0.046)	1.328 (0.152)
Ο4-5	0.449 (0.061)	1.205 (0.13)

Πίνακας 16: Τιμές δείκτη DHI και μέσου ύψους δίσκου ανά φύλο

Επίπεδο	DHI άνδρες (σταθερή απόκλιση)	DHI γυναίκες (σταθερή απόκλιση)	Μέσο ύψος άνδρες (cm) (σταθερή απόκλιση)	Μέσο ύψος γυναίκες (cm) (σταθερή απόκλιση)
Θ12-Ο1	0.276 (0.034)	0.266 (0.042)	0.679 (0.085)	0.6 (0.078)
Ο1-2	0.315 (0.037)	0.301 (0.044)	0.805 (0.09)	0.716 (0.086)
Ο2-3	0.373 (0.065)	0.344 (0.043)	0.965 (0.163)	0.834 (0.09)
Ο3-4	0.398 (0.044)	0.399 (0.048)	1.024 (0.1)	0.951 (0.091)
Ο4-5	0.439 (0.045)	0.456 (0.07)	1.101 (0.085)	1.056 (0.13)

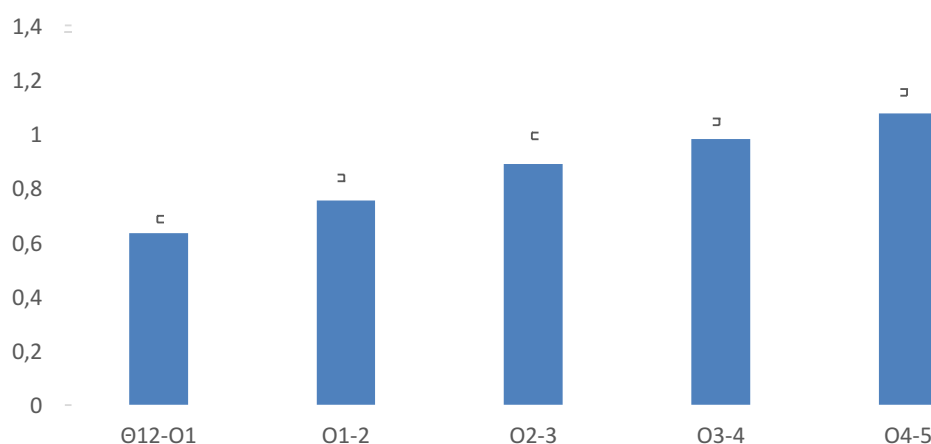
Εκφράστηκε το μέσο, πρόσθιο και οπίσθιο ύψος κάθε μεσοσπονδύλιου διαστήματος ως απλή συνάρτηση, όπου εξαρτημένη μεταβλητή y είναι το ζητούμενο ύψος και ανεξάρτητη μεταβλητή x είναι το ύψος του αμέσως προηγούμενου διαστήματος. Χρησιμοποιώντας απλή γραμμική παλινδρόμηση, βρέθηκε ότι για κάθε διάστημα από τα Θ12-O1, O1-2, O2-3, O3-4 και O4-5, το μοντέλο παλινδρόμησης ήταν στατιστικά σημαντικό ($p < 0.0005$) για όλα τα ύψη. Κατά συνέπεια διαμορφώνονται εξισώσεις πρόβλεψης.

Πίνακας 17: εξισώσεις πρόβλεψης ανά σπονδυλικό επίπεδο στην ΟΜΣΣ

Μέσο ύψος	Εξίσωση πρόβλεψης	R^2
O1-2	$0.278 + 0.75 * \Theta 12-O1$	0.471
O2-3	$0.042 + 1.125 * O1-2$	0.613
O3-4	$0.555 + 0.48 * O2-3$	0.448
O4-5	$0.32 + 0.77 * O3-4$	0.454
Οπίσθιο ύψος	Εξίσωση πρόβλεψης	R^2
O1-2	$0.225 + 0.724 * \Theta 12=O1$	0.606
O2-3	$-0.1 + 1.345 * O1-2$	0.434
O3-4	$0.545 + 0.268 * O2-3$	0.209
O4-5	$0.344 + 0.594 * O3-4$	0.302
Πρόσθιο ύψος	Εξίσωση πρόβλεψης	R^2
O1-2	$0.433 + 0.511 * \Theta 12-O1$	0.142
O2-3	$0.63 + 0.35 * O1-2$	0.151
O3-4	$0.487 + 0.621 * O3-4$	0.529
O4-5	$0.29 + 0.909 * O3-4$	0.531

□

ΜΕΣΟ ΥΨΟΣ ΔΙΣΚΟΥ

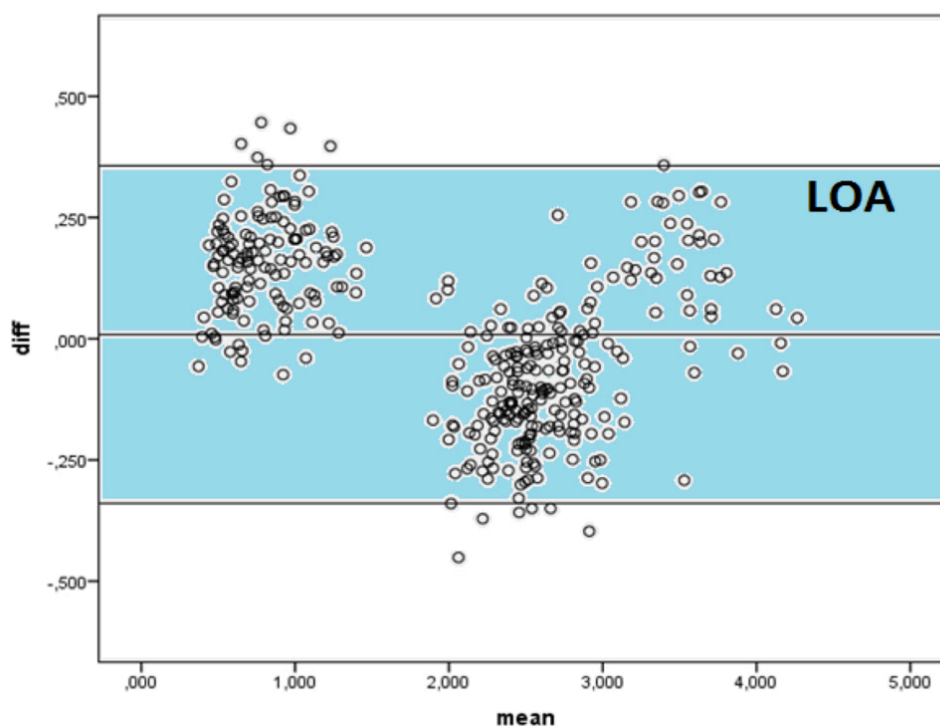


Εικόνα 35 Μέσο ύψος δίσκου (+ σταθερή απόκλιση) ανά επίπεδο στην ΟΜΣΣ

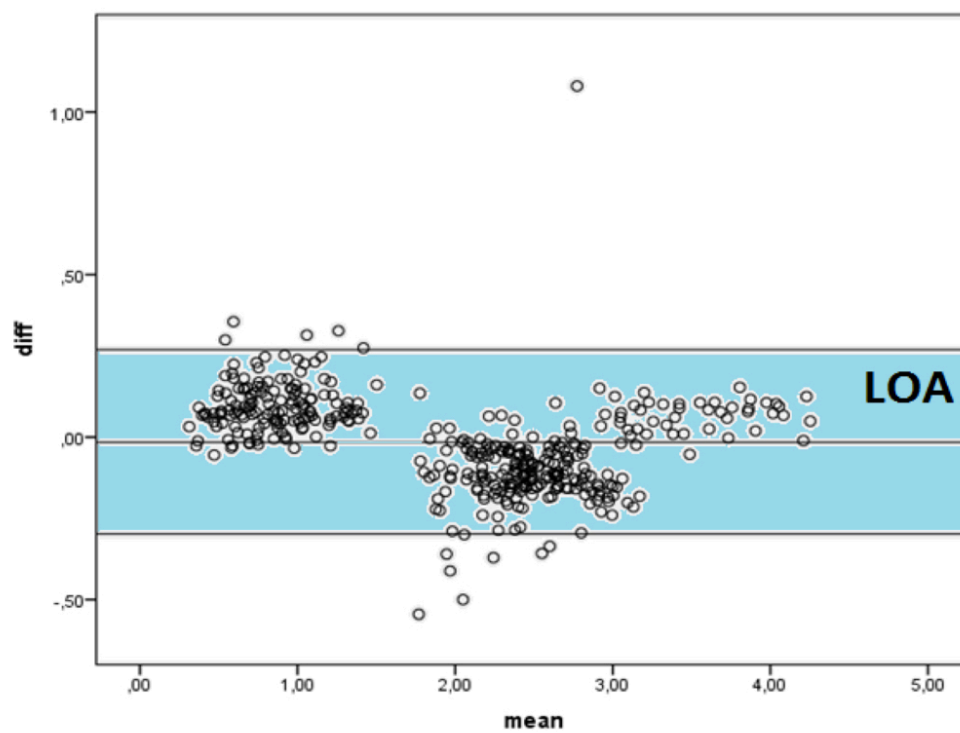
Σε ότι αφορά τη συμφωνία μεταξύ μετρήσεων του ίδιου παρατηρητή, το 95% των ορίων συμφωνίας υπολογίστηκε ως το 28.5% των μέσων τιμών και το ICC ήταν 0.994 με 95% διάστημα εμπιστοσύνης (confidence interval – CI) από 0.993 έως 0.995. Το 95% των ορίων των μετρήσεων μεταξύ των παρατηρητών ήταν στο 34% των μέσων τιμών και το ICC ήταν 0.992 με 95% CI από 0.990 έως 0.994 (πίνακας 18, figures 32,33).

Πίνακας 18: Συγκεντρωτικός πίνακας στατιστικών για τη συμφωνία μετρήσεων μεταξύ του ίδιου παρατηρητή και μεταξύ παρατηρητών

	Αριθμός μετρήσεων	ICC (95% CI)	Μέση διαφορά (σταθερή απόκλιση) (mm)	95% LOA	LOA % μέσης τιμής
Μεταξύ παρατηρητών	360	0.992 (0.990-0.994)	0.0087 (0.1776)	[-0.3395; 0.3568]	34
Ίδιος παρατηρητής	406	0.994 (0.993-0.995)	-0.0157 (0.1442)	[-0.2983; 0.2669]	28.5



Εικόνα 36 Μετρήσεις συμφωνίας μεταξύ παρατηρητών σε διάγραμμα Bland-Altman



Εικόνα 37 Μετρήσεις συμφωνίας μεταξύ του ίδιου παρατηρητή σε διάγραμμα Bland-Altman

4. Ερευνητικό πρωτόκολλο εθελοντών

Δείγμα	Ηλικία (έτη) (σταθερή απόκλιση)	Ύψος (cm) (σταθερή απόκλιση)	Βάρος (kg) (σταθερή απόκλιση)
N=10 (5 άνδρες, 5 γυναίκες)	21.9 (2.4) εύρος 18-28	172.8 (7.5) εύρος 155-183	76.1 (18) εύρος 50-106

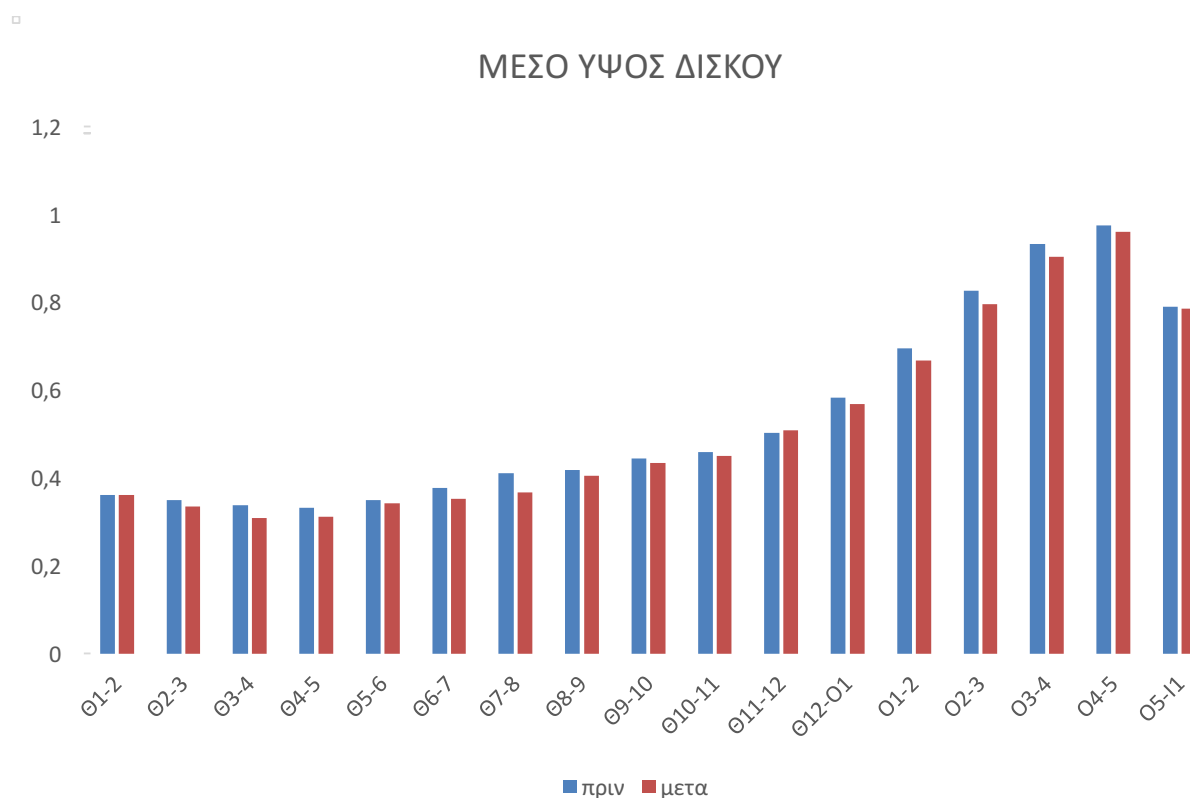
Μετρήθηκαν οι διαφορές μεταξύ πρωινής και απογευματινής με φόρτιση MRI του πρόσθιου, μεσαίου και οπίσθιου ύψους, όπως και της προσθιοπίσθιας διαμέτρου, κάθε μεσοσπονδυλίου δίσκου από A7 έως και I1 για κάθε εθελοντή. Στο τμήμα A7-I1, το άθροισμα των ημερήσιων διαφορών του πρόσθιου και του μεσαίου ύψους κάθε δίσκου διέφεραν σημαντικά ($p < 0.05$), με μεγαλύτερο το άθροισμα των διαφορών του μεσαίου ύψους. Αντίθετα, δεν υπήρχε στατιστικά σημαντική διαφορά των αθροισμάτων των διαφορών του πρόσθιου και του μεσαίου ύψους με το άθροισμα των διαφορών του οπισθίου ύψους. Η ίδια ακριβώς τάση παρατηρήθηκε και κατά τον έλεγχο των ίδιων μεγεθών ξεχωριστά στη θωρακική (A7-Θ12) και την οσφυϊκή (Θ12-I1) μοίρα.

Πιο αναλυτικά, μεταξύ πρωινής και απογευματινής μαγνητικής, στατιστικά σημαντική μείωση παρατηρήθηκε στις τιμές του μεσαίου ύψους στους δίσκους των διαστημάτων Θ2-3, Θ3-4, Θ7-8, Θ10-11, O1-2, O2-3, O4-5 και O5-I1 ($p < 0.05$). Για τις τιμές του πρόσθιου ύψους, στατιστικά σημαντική μείωση υπήρχε μόνο για τους δίσκους O2-3 και O5-I1 ($p < 0.05$). Για τις τιμές του οπίσθιου ύψους, στατιστικά σημαντική ημερήσια διακύμανση (μείωση του ύψους) παρατηρήθηκε μόνο για το δίσκο O5-I1. Σε ότι αφορά την ημερήσια διακύμανση των τιμών της προσθιοπίσθιας διαμέτρου του δίσκου, στατιστικά σημαντική αύξηση της διαμέτρου παρατηρήθηκε στα επίπεδα A7-Θ1, Θ5-6, Θ11-12, O2-3 και O4-5 ($p < 0.05$).

Η συνολική απώλεια ύψους των δίσκων από το δίσκο A2-3 έως το δίσκο O5-I1 ήταν 0.309cm με σταθερή απόκλιση 0.015cm. Στην ΑΜΣΣ (A2-A7, 5 δίσκοι), η συνολική απώλεια ήταν 0.022cm ή περίπου 7% επί της συνολικής απώλειας και η μέση απώλεια για κάθε δίσκο ήταν περίπου 0.003cm ή 1.17%. Στη ΘΜΣΣ (Θ1-Θ12, 11 δίσκοι) η συνολική απώλεια ήταν 0.165cm ή περίπου 53.4% επί της συνολικής και η μέση απώλεια για κάθε δίσκο ήταν περίπου 0.015cm ή 4.9% επί της συνολικής απώλειας ύψους. Στην ΟΜΣΣ (Θ12-I1, 6 δίσκοι) η αντίστοιχη συνολική απώλεια ήταν 0.122cm ή περίπου 39.6% και η μέση απώλεια για κάθε δίσκο περίπου 0.02cm ή 6.6% επί της συνολικής απώλειας.

Το συνολικό ανάστημα του κάθε εθελοντή διέφερε στατιστικά σημαντικά την ημέρα που έφερε το σακίδιο με το βάρος μεταξύ πρωινής και απογευματινής ώρας ($p < 0.05$). Επίσης, οι απογευματινές μετρήσεις των αναστημάτων με διαφορά 24 ώρες διέφεραν

με στατιστικά σημαντικό τρόπο ($p < 0.05$). Δεν διέφεραν οι πρωινές μετρήσεις μεταξύ τους με διαφορά 24 ώρες, ούτε και οι μετρήσεις μεταξύ πρωινού και απογεύματος την επόμενη μέρα χωρίς σακίδιο βάρους. Το φύλο και το BMI δεν επηρεάζουν τη διακύμανση του μέσου ύψους του δίσκου μεταξύ πρωινού και απογεύματος.



Εικόνα 38 Μετρήσεις μέσου ύψους δίσκου πριν και μετά την εφαρμογή σακιδίου ράχης

Βιβλιογραφία

1. Frobin W, Leivseth G, Biggemann M, Brinckmann P. Vertebral height, disc height, posteroanterior displacement and dens–atlas gap in the cervical spine: precision measurement protocol and normal data. *Clin Biomech.* 2002;17(6):423–31
2. Pait TG, Killefer JA, Arnautovic KI. Surgical anatomy of the anterior cervical spine: the disc space, vertebral artery, and associated bony structures. *Neurosurgery.* 1996;39(4):769–76
3. Wilkinson M. The morbid anatomy of cervical spondylosis and myelopathy *Brain.* 1960;83(4):589–617
4. Panjabi MM, Duranceau J, Goel V, Oxland T, Takata K. Cervical human vertebrae quantitative three-dimensional anatomy of the middle and lower regions. *Spine.* 1991;16(8):861–9
5. Abuzayed B, Tutunculer B, Kucukyuruk B, Tuzgen S. Anatomic basis of anterior and posterior instrumentation of the spine: morphometric study. *Surg Radiol Anat.* 2010;32(1):75–85
6. Moroney SP, Schultz AB, Miller JA. Analysis and measurement of neck loads. *J Orthop Res.* 1988;6(5):713–20
7. Fletcher JG, Stringer MD, Briggs CA, Davies TM, Woodley SJ. CT morphometry of adult thoracic intervertebral discs. *Eur Spine J.* 2015;24(10):2321-9. doi:10.1007/s00586-015-3925-y.
8. Gocmen-Mas N, Karabekir H. Evaluation of Lumbar Vertebral Body and Disc: A Stereological Morphometric Study. *Int J Morphol.* 2010;28(3):841-847
9. Jarman JP, Arpinar VE, Baruah D, Klein AP, Maiman DJ, Tugan Muftuler L. Intervertebral disc height loss demonstrates the threshold of major pathological changes during degeneration. *Eur Spine J.* 2015;24:1944-1950

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

ΑΜΣΣ

Ον/μo	Ηλικία	Φύλο	BMI	Ύψος	Βάρος	A3						A4						DHI
	23	0	22,57	1,71	66,00	1,200	0,999	1,250	0,259	0,591	0,409	1,620	1,150	0,949	1,090	0,379		
	24	1				1,160	0,898	1,160	0,365	0,612	0,456	1,580	1,190	0,903	0,956	0,457		
	38	0				1,020	0,937	1,090	0,340	0,346	0,244	1,230	1,000	0,899	1,030	0,311		
	40	0				1,190	0,920	1,240	0,313	0,516	0,284	1,410	1,100	0,926	1,250	0,336		
	34	0				1,200	1,020	1,120	0,273	0,463	0,404	1,390	1,130	0,990	1,230	0,341		
	28	0	18,37	1,65	50,00	1,070	1,060	1,170	0,367	0,469	0,318	1,580	1,130	1,030	1,150	0,349		
	36	0				0,983	0,856	1,140	0,379	0,520	0,300	1,330	1,020	0,910	1,120	0,398		
	33	1				1,200	1,150	1,430	0,378	0,461	0,228	1,720	1,210	1,110	1,290	0,289		
	35	0				1,050	1,020	1,190	0,441	0,537	0,321	1,400	0,953	0,919	1,200	0,410		
	31	0				1,020	1,010	1,130	0,302	0,418	0,279	1,440	1,040	0,885	1,110	0,323		
	27	0				1,190	0,935	1,220	0,307	0,495	0,242	1,470	1,020	0,888	1,140	0,307		
	21	1				1,150	1,070	1,290	0,320	0,480	0,270	1,620	1,270	0,945	1,240	0,307		
	20	1				1,260	1,120	1,330	0,280	0,546	0,364	1,460	1,160	0,949	1,200	0,339		
	25	1	21,91	1,85	75,00	1,274	1,055	1,323	0,298	0,553	0,406	1,927	1,290	1,040	1,349	0,343		
	33	1				1,510	1,330	1,580	0,206	0,445	0,300	1,440	1,370	1,100	1,430	0,229		
23	1	29,37	1,77	92,00	1,193	1,199	1,347	0,426	0,449	0,424	1,463	1,253	1,225	1,285	0,346			
23	1	21,63	1,76	67,00	1,050	0,961	1,030	0,286	0,459	0,392	1,560	1,050	0,994	1,160	0,364			
20	1	21,15	1,78	67,00	1,260	1,300	1,420	0,469	0,534	0,366	1,700	1,130	1,160	1,350	0,359			
28	0				1,360	0,995	1,220	0,247	0,476	0,286	1,400	1,100	0,797	1,010	0,311			
30	0				1,160	0,948	1,170	0,246	0,512	0,273	1,280	1,140	0,808	1,080	0,327			
28	0	21,51	1,67	60,00	1,230	0,959	1,290	0,307	0,476	0,238	1,500	1,190	1,040	1,240	0,294			
29	0				1,090	0,980	1,200	0,405	0,423	0,266	1,260	0,990	0,940	1,190	0,342			
42	1				1,390	1,120	1,310	0,376	0,562	0,351	1,630	1,350	1,180	1,350	0,333			
29	0				1,040	0,954	1,180	0,366	0,360	0,235	1,530	1,010	0,955	1,150	0,306			
34	1				1,540	1,350	1,510	0,352	0,610	0,508	1,710	1,520	1,310	1,470	0,338			
22	0	15,50	1,76	48,00	1,207	1,081	1,341	0,295	0,459	0,314	1,536	1,093	1,054	1,336	0,300			
33	0				1,050	1,050	1,400	0,317	0,508	0,275	1,440	1,210	1,050	1,270	0,313			
20	0	24,14	1,55	58,00	1,053	0,940	1,165	0,315	0,478	0,304	1,489	1,050	0,925	1,110	0,351			
31	0				1,080	0,909	1,160	0,357	0,563	0,375	1,570	1,090	0,943	1,120	0,411			
22	0	21,30	1,72	63,00	1,260	1,004	1,094	0,304	0,543	0,414	1,539	1,150	1,077	1,190	0,372			
22	0	24,73	1,73	74,00	1,158	1,116	1,219	0,393	0,509	0,467	1,311	1,000	1,045	1,109	0,412			
19	0	21,72	1,73	65,00	1,107	0,898	1,070	0,344	0,560	0,449	1,649	0,968	0,948	1,000	0,452			
19	1	27,10	1,75	83,00	1,281	1,136	1,193	0,400	0,459	0,363	1,700	1,311	1,200	1,273	0,331			
24	0	23,51	1,65	64,00	1,022	1,073	1,185	0,412	0,510	0,371	1,479	1,157	1,116	1,242	0,381			
20	0	22,84	1,80	74,00	1,420	1,230	1,410	0,273	0,506	0,323	1,510	1,300	1,140	1,210	0,282			
24	0	27,92	1,65	76,00	1,240	1,160	1,270	0,348	0,488	0,381	1,550	1,120	1,040	1,210	0,346			
20	1	31,65	1,83	106,00	1,299	1,204	1,365	0,343	0,453	0,271	1,416	1,258	1,196	1,361	0,278			
39	1				1,330	1,250	1,440	0,539	0,537	0,277	1,650	1,240	1,130	1,310	0,351			
20	1	30,46	1,83	102,00	1,240	1,280	1,580	0,381	0,475	0,322	1,650	1,400	1,290	1,450	0,286			
21	0	23,94	1,71	70,00	1,050	0,976	1,190	0,407	0,453	0,297	1,700	1,090	1,040	1,190	0,354			
							</											

MEAN HEIGHT A3-4		disc convexity		A4-5		A5		DHI	MEAN HEIGHT A4-5		disc convexity		A5	
MH3-4		α	β	γ	δ	α	β	γ						
0,420		1,769	0,322	0,555	0,352	1,630	1,060	0,988	1,120	0,387		1,647	0,466	0,538
0,478		1,491	0,309	0,500	0,315	1,680	1,080	1,040	1,150	0,356		1,603	0,431	0,482
0,310		1,185	0,306	0,393	0,278	1,190	0,862	0,849	1,000	0,346		1,346	0,321	0,361
0,371		1,729	0,314	0,560	0,276	1,460	1,090	0,958	1,230	0,351		1,898	0,424	0,477
0,380		1,368	0,337	0,419	0,281	1,360	1,070	1,020	1,060	0,319		1,356	0,454	0,443
0,385		1,369	0,329	0,446	0,335	1,600	1,040	0,968	1,100	0,346		1,343	0,364	0,470
0,400		1,532	0,464	0,514	0,253	1,400	0,898	0,829	0,971	0,428		1,434	0,444	0,529
0,356		1,521	0,492	0,487	0,290	1,740	1,200	1,050	1,310	0,354		1,246	0,416	0,577
0,433		1,409	0,371	0,491	0,312	1,330	0,949	0,888	1,160	0,387		1,438	0,419	0,482
0,333		1,439	0,327	0,439	0,414	1,450	0,979	0,882	0,968	0,402		1,185	0,296	0,492
0,348		1,803	0,374	0,440	0,310	1,460	1,030	0,940	1,100	0,367		1,287	0,389	0,384
0,357		1,627	0,202	0,526	0,312	1,530	1,130	0,926	1,160	0,312		2,047	0,369	0,528
0,397		1,696	0,351	0,525	0,458	1,580	0,990	0,880	1,020	0,430		1,298	0,435	0,631
0,419		1,571	0,571	0,595	0,401	1,854	1,198	1,105	1,273	0,432		1,224	0,648	0,618
0,317		1,759	0,391	0,499	0,224	1,450	1,300	1,160	1,360	0,289		1,623	0,450	0,540
0,433		1,056	0,468	0,466	0,474	1,333	1,184	1,232	1,289	0,377		0,989	0,555	0,562
0,379		1,354	0,447	0,461	0,378	1,560	1,030	1,020	1,110	0,404		1,118	0,438	0,482
0,456		1,279	0,602	0,477	0,280	1,700	1,700	1,140	1,300	0,349		1,082	0,519	0,428
0,336		1,786	0,317	0,490	0,322	1,520	0,909	0,812	1,000	0,401		1,534	0,276	0,424
0,344		1,973	0,181	0,464	0,309	1,240	0,989	0,899	1,000	0,323		1,894	0,240	0,408
0,340		1,747	0,339	0,465	0,338	1,410	1,170	1,060	1,290	0,327		1,374	0,380	0,534
0,365		1,261	0,416	0,426	0,192	1,350	0,906	0,919	1,110	0,342		1,401	0,446	0,428
0,430		1,546	0,330	0,464	0,211	1,580	1,360	1,180	1,340	0,259		1,715	0,488	0,565
0,320		1,198	0,325	0,359	0,210	1,420	1,010	0,983	1,070	0,289		1,342	0,310	0,360
0,490		1,419	0,334	0,554	0,438	1,680	1,320	1,180	1,380	0,324		1,435	0,411	0,485
0,356		1,507	0,299	0,364	0,299	1,443	1,070	1,100	1,210	0,280		1,217	0,476	0,509
0,367		1,716	0,283	0,536	0,282	1,350	1,060	0,920	1,080	0,334		1,897	0,357	0,456
0,366		1,543	0,270	0,440	0,332	1,350	0,947	0,934	1,111	0,343		1,462	0,380	0,474
0,432		1,538	0,340	0,465	0,370	1,380	0,986	0,876	1,100	0,384		1,310	0,384	0,489
0,420		1,513	0,321	0,456	0,373	1,355	1,070	1,055	1,138	0,344		1,314	0,500	0,455
0,456		1,184	0,507	0,516	0,500	1,366	1,062	1,059	1,114	0,477		1,025	0,417	0,536
0,451		1,412	0,452	0,506	0,541	1,677	0,968	1,010	1,052	0,504		1,019	0,436	0,407
0,407		1,203	0,357	0,401	0,265	1,606	1,069	1,199	1,332	0,277		1,289	0,488	0,436
0,431		1,303	0,422	0,482	0,413	1,455	1,097	1,097	1,141	0,385		1,154	0,492	0,515
0,367		1,698	0,308	0,508	0,295	1,500	1,220	1,160	1,310	0,298		1,685	0,370	0,511
0,406		1,339	0,411	0,449	0,388	1,490	1,150	1,160	1,230	0,361		1,124	0,457	0,493
0,356		1,476	0,463	0,477	0,293	1,536	1,168	1,059	1,181	0,341		1,262	0,343	0,567
0,451		1,316	0,516	0,583	0,319	1,650	1,300	1,040	1,260	0,390		1,396	0,726	0,655
0,393		1,351	0,406	0,436	0,342	1,670	1,210	1,220	1,290	0,301		1,166	0,362	0,532
0,386		1,287	0,435	0,574	0,402	1,730	0,939	0,891	1,170	0,447		1,372	0,409	0,566
0,391		1,482	0,375	0,480	0,334	1,502	1,094	1,017	1,165	0,359		1,389	0,425	0,496
0,045		0,207	0,090	0,055	0,078	0,148	0,155	0,116	0,115	0,054		0,253	0,090	0,068

-6		A6			DHI		MEAN HEIGHT A5-6		disc convexity		A6-7			A7			DHI	
Y	δ	α	β	γ					α	β	γ	δ	α	β	γ			
0.402	1.570	1.120	0.880	1.130	0.446		0.469		1.240	0.566	0.604	0.295	1.550	1.200	1.020	1.160	0.450	
0.422	1.730	0.995	0.996	1.170	0.415		0.445		1.130	0.513	0.554	0.400	1.820	1.300	1.090	1.210	0.434	
0.260	1.310	1.030	0.823	1.000	0.339		0.314		1.243	0.306	0.521	0.271	1.460	1.040	0.928	1.080	0.372	
0.280	1.410	1.130	0.990	1.200	0.358		0.394		1.355	0.502	0.588	0.241	1.680	1.290	1.240	1.330	0.371	
0.311	1.520	1.060	1.000	1.140	0.380		0.403		1.158	0.485	0.519	0.309	1.690	1.330	1.160	1.280	0.377	
0.311	1.590	1.120	1.000	1.210	0.356		0.382		1.393	0.369	0.516	0.311	1.590	1.270	1.100	1.360	0.339	
0.317	1.590	1.040	0.863	1.030	0.458		0.430		1.390	0.458	0.564	0.306	1.660	1.250	1.120	1.200	0.408	
0.292	1.810	1.190	0.985	1.270	0.367		0.428		1.630	0.437	0.552	0.264	1.720	1.360	1.070	1.320	0.348	
0.317	1.490	1.030	0.880	1.170	0.401		0.406		1.310	0.490	0.603	0.249	1.540	1.160	1.010	1.240	0.414	
0.399	1.560	1.010	0.934	1.110	0.404		0.396		1.416	0.440	0.516	0.356	1.660	1.250	1.020	1.200	0.402	
0.264	1.460	1.020	0.852	1.060	0.346		0.346		1.176	0.420	0.505	0.244	1.450	1.280	0.952	1.130	0.371	
0.334	1.530	1.060	0.985	1.150	0.384		0.410		1.502	0.383	0.516	0.365	1.610	1.220	1.010	1.270	0.378	
0.351	1.570	1.130	0.864	1.070	0.476		0.472		1.606	0.510	0.619	0.319	1.660	1.420	1.100	1.230	0.425	
0.430	1.885	1.330	1.084	1.132	0.476		0.565		1.147	0.544	0.581	0.355	1.900	1.482	1.300	1.460	0.380	
0.316	1.700	1.460	1.210	1.340	0.334		0.435		1.410	0.520	0.589	0.316	1.880	1.660	1.320	1.520	0.335	
0.517	1.564	1.220	1.226	1.376	0.434		0.545		1.049	0.584	0.621	0.408	1.580	1.414	1.342	1.456	0.402	
0.386	1.510	1.010	0.974	1.110	0.418		0.435		1.170	0.409	0.475	0.314	1.550	1.190	0.880	1.090	0.383	
0.314	1.620	1.210	1.160	1.260	0.325		0.420		1.028	0.533	0.508	0.349	1.600	1.330	1.380	1.440	0.357	
0.365	1.340	0.953	0.910	1.050	0.378		0.355		1.323	0.388	0.502	0.328	1.630	1.150	0.920	1.170	0.396	
0.319	1.520	1.130	0.946	1.060	0.321		0.322		1.460	0.331	0.469	0.310	1.500	1.300	1.060	1.240	0.330	
0.297	1.490	1.250	1.060	1.210	0.344		0.404		1.578	0.369	0.515	0.290	1.450	1.360	1.240	1.300	0.316	
0.240	1.390	1.100	0.906	1.070	0.371		0.371		1.248	0.387	0.593	0.273	1.380	1.360	1.070	1.300	0.368	
0.325	1.720	1.430	1.140	1.210	0.360		0.459		1.390	0.496	0.581	0.287	1.830	1.390	1.330	1.490	0.341	
0.309	1.340	1.120	0.912	1.080	0.317		0.326		1.163	0.251	0.427	0.198	1.350	1.260	0.950	1.140	0.271	
0.296	1.810	1.200	1.120	1.340	0.316		0.397		1.372	0.464	0.579	0.345	1.850	1.440	1.180	1.350	0.364	
0.316	1.643	1.200	1.030	1.267	0.378		0.434		1.285	0.402	0.602	0.258	1.662	1.432	1.135	1.363	0.340	
0.218	1.390	1.260	0.918	1.110	0.325		0.344		1.586	0.318	0.528	0.298	1.560	1.250	1.010	1.160	0.341	
0.304	1.394	1.139	0.949	1.132	0.373		0.386		1.386	0.311	0.496	0.282	1.472	1.291	1.097	1.235	0.318	
0.396	1.480	1.100	0.850	1.050	0.426		0.423		1.254	0.395	0.616	0.329	1.400	1.140	1.010	1.220	0.421	
0.400	1.600	1.132	0.974	1.153	0.416		0.452		1.011	0.343	0.532	0.319	1.636	1.271	1.066	1.235	0.350	
0.496	1.543	1.189	1.060	1.160	0.436		0.483		1.174	0.417	0.587	0.502	1.544	1.372	1.273	1.363	0.406	
0.397	1.639	1.079	1.089	1.103	0.394		0.413		0.977	0.409	0.416	0.403	1.655	1.196	1.111	1.207	0.362	
0.271	1.598	1.226	1.266	1.417	0.318		0.398		1.149	0.507	0.504	0.291	1.593	1.552	1.343	1.490	0.314	
0.453	1.722	1.167	1.046	1.167	0.435		0.487		1.090	0.331	0.552	0.411	1.617	1.309	1.077	1.227	0.370	
0.288	1.470	1.300	1.190	1.370	0.310		0.390		1.553	0.472	0.548	0.267	1.620	1.490	1.330	1.600	0.311	
0.315	1.480	1.190	1.130	1.300	0.353		0.422		1.277	0.451	0.491	0.312	1.560	1.250	1.230	1.390	0.335	
0.481	1.606	1.236	1.025	1.213	0.404		0.464		1.376	0.456	0.629	0.476	1.772	1.429	1.270	1.407	0.412	
0.399	1.570	1.210	1.150	1.340	0.488		0.593		1.164	0.598	0.611	0.231	1.680	1.550	1.450	1.690	0.343	
0.419	1.780	1.310	1.060	1.330	0.354		0.438		1.362	0.434	0.650	0.393	1.750	1.470	1.300	1.400	0.375	
0.336	1.700	1.080	0.936	1.130	0.427		0.437		1.519	0.420	0.570	0.345	1.880	1.280	1.180	1.340	0.384	
0.347	1.566	1.154	1.009	1.180	0.384		0.422		1.301	0.435	0.549	0.320	1.625	1.325	1.142	1.307	0.368	
0.370	1.570	1.154	1.009	1.180	0.384		0.422		0.172	0.080	0.055	0.063	0.137	0.125	0.143	0.137	0.038	

MEAN HEIGHT A6-7	disc convexity										A7-Θ1										Θ1										DHI	MEAN HEIGHT A7-T1	disc convexity			
	α	β	γ	δ	α	β	γ				α	β	γ																							
0.488	1.403	0.343	0.489	0.273	1.470	1.390	1.260	1.380	0.298																										1.58766233766234	
0.489	1.214	0.358	0.591	0.372	1.670	1.460	1.260	1.410	0.342																										1.61917808219178	
0.366	1.806	0.455	0.368	0.243	1.480	1.210	1.240	1.300	0.314																										1.05444126074499	
0.444	1.583	0.435	0.337	0.18	1.350	1.530	1.630	1.750	0.217																										1.09593495934959	
0.438	1.307	0.286	0.429	0.209	1.690	1.510	1.340	1.390	0.231																										1.73333333333333	
0.399	1.518	0.409	0.521	0.278	1.570	1.440	1.260	1.510	0.304																										1.51673944687045	
0.443	1.476	0.408	0.453	0.323	1.600	1.460	1.290	1.380	0.308																										1.23939808481532	
0.418	1.575	0.384	0.504	0.319	1.740	1.430	1.340	1.540	0.300																										1.43385490753912	
0.447	1.632	0.423	0.432	0.206	1.450	1.320	1.380	1.460	0.280																										1.37360890302067	
0.437	1.296	0.367	0.506	0.278	1.600	1.450	1.150	1.320	0.312																										1.56899224806202	
0.390	1.521	0.375	0.383	0.316	1.500	1.330	1.240	1.370	0.294																										1.10853835021708	
0.421	1.380	0.425	0.662	0.386	1.640	1.520	1.240	1.370	0.386																										1.63255240443896	
0.483	1.493	0.329	0.468	0.272	1.690	1.610	1.470	1.550	0.255																										1.55740432612313	
0.493	1.293	0.556	0.508	0.326	1.828	1.665	1.627	1.734	0.300																										1.152	
0.475	1.409	0.343	0.473	0.292	1.690	1.690	1.610	1.730	0.233																										1.490	
0.538	1.252	0.478	0.463	0.347	1.721	1.596	1.560	1.575	0.288																										1.122	
0.399	1.314	0.382	0.468	0.219	1.450	1.310	1.370	1.500	0.291																										1.55740432612313	
0.463	1.152	0.465	0.421	0.302	1.600	1.300	1.480	1.660	0.277																										1.09778357235984	
0.406	1.402	0.283	0.452	0.243	1.420	1.260	1.160	1.340	0.279																										1.71863117870722	
0.370	1.463	0.168	0.384	0.174	1.480	1.370	1.320	1.490	0.187																										2.24561403508772	
0.391	1.563	0.353	0.388	0.235	1.410	1.590	1.500	1.660	0.226																										0.326	
0.418	1.797	0.352	0.461	0.267	1.380	1.410	1.270	1.480	0.274																										1.31972789115646	
0.455	1.484	0.577	0.584	0.367	1.840	1.550	1.540	1.690	0.340																										0.360	
0.292	1.902	0.269	0.503	0.22	1.300	1.370	1.260	1.450	0.267																										1.23728813559322	
0.463	1.431	0.381	0.535	0.364	1.890	1.580	1.430	1.570	0.299																										0.331	
0.421	1.826	0.328	0.445	0.23	1.661	1.480	1.445	1.547	0.239																										2.05725971370143	
0.381	1.714	0.219	0.482	0.254	1.460	1.530	1.220	1.410	0.252																										1.43624161073826	
0.363	1.673	0.313	0.461	0.284	1.393	1.390	1.260	1.359	0.277																										0.334	
0.447	1.702	0.490	0.555	0.328	1.330	1.430	1.250	1.440	0.367																										2.03805496828753	
0.398	1.607	0.374	0.533	0.318	1.724	1.326	1.293	1.473	0.320																										0.353	
0.502	1.277	0.487	0.455	0.326	1.407	1.496	1.511	1.583	0.295																										1.5438860971524	
0.409	1.025	0.359	0.594	0.321	1.657	1.477	1.224	1.467	0.332																										1.357	
0.434	1.263	0.298	0.517	0.366	1.637	1.638	1.512	1.690	0.256																										1.540	
0.431	1.488	0.351	0.466	0.271	1.679	1.494	1.364	1.442	0.275																										1.119	
0.429	1.483	0.361	0.477	0.197	1.660	1.700	1.520	1.770	0.220																										1.748	
0.418	1.287	0.433	0.381	0.257	1.530	1.260	1.390	1.520	0.266																										0.394	
0.520	1.350	0.335	0.52	0.348	1.682	1.754	1.591	1.786	0.260																										1.557	
0.480	1.474	0.511	0.563	0.321	1.800	1.630	1.550	1.800	0.289																										1.498	
0.492	1.572	0.417	0.568	0.368	1.770	1.500	1.500	1.740	0.304																										1.70967741935484	
0.445	1.490	0.379	0.455	0.285	1.770	1.500	1.510	1.620	0.265																										0.345	
																																				1.10434782608696
0.435	1.472	0.381	0.481	0.287	1.590	1.474	1.384	1.531	0.283																										0.401	
0.048	0.191	0.082	0.068	0.057	0.153	0.129	0.138	0.143	0.040																										1.523	
																																				1.523
																																				1.523
																																				1.523
																																				1.523
																																				1.523
																																				1.523
																																				1.523
																																				1.523
																																				1.523
																																				1.523
																																				1.523
																																				1.523
																																				1.523
																																				1.523
																																				1.523
																																				1.523
																																				1.523

Ον/μιο	Ηλικία	Φύλο										
			α	Θ1			α	Θ1-2			δ	
				β	γ	γ		β	γ	γ		
		48 Θ	1,23	1	1,2	0,27	0,49	0,25	1,63			
		20 Α	1,54	1,47	1,74	0,33	0,55	0,45	2,12			
		36 Θ	1,1	1,15	1,3	0,34	0,41	0,17	1,4			
		33 Α	1,41	1,28	1,44	0,3	0,42	0,21	1,95			
		47 Θ	1,26	1,13	1,38	0,2	0,33	0,23	1,53			
		45 Θ	1,38	1,23	1,39	0,3	0,48	0,29	1,74			
		39 Θ	1,38	1,14	1,37	0,17	0,44	0,19	1,81			
		42 Θ	1,24	1,01	1,2	0,28	0,51	0,25	1,69			
		38 Θ	1,18	1,16	1,36	0,3	0,45	0,26	1,63			
		22 Θ	1,36	1,29	1,47	0,37	0,49	0,37	1,89			
		19 Α	1,638	1,512	1,690	0,29	0,44	0,34	1,8			
		20 Θ	1,390	1,260	1,359	0,27	0,42	0,26	1,47			
		29 Θ	1,47	1,26	1,51	0,26	0,5	0,29	1,77			
		22 Α	1,31	1,37	1,5	0,31	0,31	0,25	1,55			
		20 Α	1,76	1,6	1,75	0,27	0,51	0,41	1,72			
		22 Α	1,596	1,560	1,575	0,34	0,36	0,31	2,04			
		39 Α	1,6	1,48	1,68	0,42	0,545	0,38	1,78			
		22 Θ	1,496	1,511	1,583	0,386	0,464	0,413	1,725			
		20 Α	1,500	1,500	1,740	0,276	0,435	0,259	1,795			
		23 Θ	1,387	1,255	1,422	0,323	0,523	0,377	1,496			
		30,300	1,411	1,308	1,483	0,300	0,454	0,298	1,727			
		10,194	0,163	0,178	0,168	0,056	0,065	0,078	0,183			

α	Θ2		DHI		MEAN HEIGHT 1-2	disc conv α		Θ2-3			Θ3			DHI	
	B	γ	DHI 1-2			disc conv α		B	γ	δ	α	B	γ	DHI 2-3	
1,51	1,18	1,34	0,270777		0,3367	1,884615	0,2	0,47	0,21	1,86	1,47	1,25	1,51	0,213075	
1,77	1,51	1,59	0,276507		0,4433	1,410256	0,27	0,42	0,36	2,19	1,58	1,59	1,71	0,215384	
1,4	1,28	1,45	0,239583		0,3067	1,607843	0,26	0,34	0,21	1,29	1,41	1,29	1,37	0,197560	
1,57	1,48	1,49	0,214532		0,3100	1,647058	0,2	0,32	0,33	2,19	1,66	1,54	1,57	0,182599	
1,52	1,33	1,43	0,188819		0,2533	1,534883	0,13	0,4	0,25	1,75	1,49	1,26	1,44	0,184179	
1,64	1,37	1,58	0,249126		0,3567	1,627118	0,23	0,38	0,15	1,8	1,59	1,45	1,68	0,163265	
1,49	1,24	1,47	0,197775		0,2667	2,444444	0,22	0,43	0,18	2,03	1,51	1,23	1,51	0,196449	
1,38	1,15	1,34	0,284153		0,3467	1,924528	0,2	0,46	0,29	1,85	1,42	1,19	1,39	0,241423	
1,52	1,29	1,44	0,254088		0,3367	1,607142	0,18	0,4	0,32	1,8	1,49	1,33	1,54	0,209059	
1,54	1,36	1,46	0,290094		0,4100	1,324324	0,26	0,46	0,4	2,02	1,5	1,43	1,52	0,254256	
1,73	1,62	1,67	0,217		0,3567	1,396825	0,24	0,44	0,36	1,74	1,69	1,63	1,8	0,205128	
1,46	1,27	1,43	0,233		0,3167	1,584905	0,25	0,45	0,32	1,62	1,34	1,26	1,45	0,248477	
1,62	1,39	1,52	0,239452		0,3500	1,818181	0,19	0,4	0,29	1,94	1,55	1,54	1,72	0,188436	
1,44	1,42	1,52	0,203271		0,2900	1,107142	0,22	0,37	0,3	1,62	1,58	1,47	1,59	0,197339	
1,77	1,67	1,8	0,229951		0,3967	1,5	0,3	0,49	0,4	1,96	1,89	1,69	1,76	0,224952	
1,79	1,7	1,8	0,202		0,3367	1,107692	0,3	0,38	0,28	2,19	1,71	1,67	1,78	0,183732	
1,81	1,62	1,76	0,270351		0,4483	1,3625	0,235	0,47	0,344	1,92	1,78	1,63	1,87	0,200382	
1,691	1,545	1,577	0,269		0,4210	1,161	0,258	0,442	0,353	1,864	1,827	1,617	1,657	0,212	
1,700	1,600	1,750	0,198		0,3233	1,626	0,313	0,467	0,392	1,948	1,782	1,684	1,906	0,225	
1,521	1,394	1,510	0,288		0,4077	1,494	0,303	0,487	0,369	1,747	1,571	1,387	1,629	0,257	
1,594	1,421	1,546	0,241		0,3507	1,559	0,238	0,424	0,305	1,866	1,592	1,457	1,620	0,210	
0,133	0,161	0,139	0,033		0,0540	0,302	0,046	0,047	0,072	0,212	0,145	0,168	0,153	0,025	

	disc conv	Θ3-4				Θ4				DHI		disc conv
MEAN HEIGHT 2-	disc conv α	B	γ	δ	α	B	γ		DHI 3-4	MEAN HEIGHT 3-4	disc conv α	
0,2933	2,292682	0,26	0,33	0,16	1,94	1,49	1,31	1,54	0,175029	0,25000	1,571428	0,14
0,3500	1,333333	0,26	0,3	0,3	2,23	1,55	1,63	1,77	0,174974	0,28667	1,071428	0,34
0,2700	1,446808	0,18	0,44	0,21	1,77	1,66	1,42	1,68	0,187995	0,27667	2,256410	0,17
0,2833	1,207547	0,14	0,23	0,32	2,48	1,69	1,57	1,69	0,141975	0,23000	1	0,16
0,2600	2,105263	0,29	0,43	0,23	1,98	1,45	1,29	1,52	0,224852	0,31667	1,653846	0,2
0,2533	2	0,18	0,33	0,16	1,91	1,5	1,36	1,77	0,143315	0,22333	1,941176	0,23
0,2767	2,15	0,1	0,42	0,18	2,07	1,55	1,4	1,73	0,156774	0,23333	3	0,19
0,3167	1,877551	0,22	0,46	0,24	1,99	1,5	1,31	1,59	0,219047	0,30667	2	0,14
0,3000	1,6	0,25	0,48	0,26	1,86	1,45	1,31	1,53	0,228901	0,33000	1,882352	0,23
0,3733	1,393939	0,34	0,37	0,36	2,26	1,59	1,58	1,7	0,229613	0,35667	1,057142	0,32
0,3467	1,466666	0,24	0,4	0,28	2,29	1,86	1,71	1,84	0,174738	0,30667	1,538461	0,26
0,3400	1,578947	0,26	0,39	0,22	1,84	1,4	1,34	1,57	0,208133	0,29000	1,625	0,23
0,2933	1,666666	0,21	0,37	0,29	2,06	1,72	1,55	1,7	0,177914	0,29000	1,48	0,16
0,2967	1,423076	0,17	0,36	0,31	1,77	1,58	1,47	1,59	0,181034	0,28000	1,5	0,15
0,3967	1,4	0,19	0,41	0,51	2,15	1,82	1,74	1,78	0,207865	0,37000	1,171428	0,22
0,3200	1,310344	0,37	0,43	0,25	2,4	1,9	1,76	1,93	0,195348	0,35000	1,387096	0,34
0,3497	1,623488	0,217	0,497	0,322	2,14	1,81	1,68	1,9	0,194189	0,34533	1,844155	0,26
0,3510	1,446808	0,335	0,398	0,356	2,125	1,653	1,639	1,828	0,213090	0,36300	1,151953	0,293
0,3907	1,324822	0,26	0,5	0,429	2,133	1,843	1,678	1,814	0,222097	0,39633	1,451378	0,314
0,3863	1,449404	0,3014	0,459	0,358	1,853	1,492	1,44	1,712	0,242313	0,37280	1,392174	0,286
0,3224	1,605	0,239	0,400	0,287	2,063	1,625	1,509	1,709	0,195	0,30871	1,599	0,232
0,0436	0,305	0,067	0,067	0,087	0,198	0,152	0,158	0,120	0,028	0,05001	0,462	0,066

Θ4-5				Θ5				DHI		disc conv		Θ5-6				
B	γ	δ	α	B	γ	DHI 4-5	MEAN HEIGHT 4-5	disc conv	α	B	γ	δ	α			
0,36	0,19	2,13	1,49	1,39	1,6	0,156462	0,23	2,181818	0,21	0,38	0,22	2,41	1,54			
0,37	0,35	2,32	1,77	1,77	1,84	0,205227	0,3533333333333333	1,072463	0,29	0,41	0,32	2,51	1,86			
0,48	0,19	1,92	1,5	1,27	1,54	0,185226	0,28	2,666666	0,17	0,49	0,13	2,15	1,54			
0,3	0,34	2,46	1,77	1,72	1,83	0,155793	0,2666666666666666	1,2	0,17	0,31	0,25	2,75	1,98			
0,42	0,23	2,03	1,56	1,31	1,57	0,195402	0,2833333333333333	1,953488	0,13	0,44	0,2	2,15	1,58			
0,385	0,244	2,16	1,6	1,48	1,74	0,181798	0,2863333333333333	1,624472	0,29	0,48	0,256	2,47	1,53			
0,38	0,24	2,22	1,52	1,44	1,68	0,173819	0,27	1,767441	0,33	0,42	0,27	2,39	1,74			
0,4	0,28	2,09	1,55	1,36	1,56	0,184892	0,2733333333333333	1,904761	0,16	0,39	0,27	2,25	1,55			
0,49	0,3	2,07	1,59	1,43	1,65	0,227678	0,34	1,849056	0,12	0,37	0,29	2,41	1,58			
0,42	0,25	2,3	1,62	1,58	1,81	0,200404	0,33	1,473684	0,3	0,49	0,35	2,33	1,85			
0,44	0,31	2,48	1,7	1,69	1,82	0,190207	0,3366666666666666	1,543859	0,35	0,44	0,34	2,7	1,81			
0,37	0,27	1,88	1,49	1,4	1,65	0,196610	0,29	1,48	0,29	0,49	0,28	1,95	1,48			
0,4	0,28	2	1,76	1,54	1,79	0,166998	0,28	1,818181	0,21	0,47	0,29	2,16	1,82			
0,35	0,33	1,91	1,59	1,45	1,7	0,176972	0,2766666666666666	1,458333	0,19	0,38	0,31	2,1	1,63			
0,41	0,41	2,37	1,78	1,75	1,9	0,193129	0,3466666666666666	1,301587	0,21	0,38	0,29	2,47	1,88			
0,46	0,4	2,59	1,88	1,81	1,9	0,214669	0,4	1,243243	0,28	0,45	0,42	2,63	2,06			
0,455	0,327	2,34	1,84	1,63	1,91	0,193500	0,3473333333333333	1,550255	0,28	0,557	0,406	2,48	1,96			
0,444	0,335	2,261	1,531	1,578	1,789	0,214014	0,3573333333333333	1,414012	0,339	0,392	0,304	2,353	1,509			
0,494	0,362	2,357	1,973	1,73	1,929	0,213367	0,39	1,461538	0,267	0,535	0,268	2,407	2,03			
0,396	0,255	2,045	1,575	1,431	1,735	0,199680	0,3123333333333333	1,463955	0,267	0,555	0,334	2,142	1,753			
0,411	0,295	2,197	1,654	1,538	1,747	0,191	0,313	1,621	0,243	0,441	0,290	2,361	1,734			
0,049	0,061	0,199	0,140	0,161	0,121	0,019	0,044	0,361	0,068	0,065	0,064	0,204	0,186			

Θ6		DHI		disc conv		Θ6-7		Θ7		DHI	
B	Y	DHI 5-6	MEAN HEIGHT 5-6	disc conv α	B	Y	δ	α	B	Y	DHI 6-7
1,43	1,58	0,179401	0,2700	1,767441	0,17	0,33	0,18	2,67	1,53	1,44	1,74 0,146868
1,8	1,95	0,185623	0,3400	1,344262	0,36	0,41	0,34	2,7	1,78	1,87	2,04 0,196460
1,31	1,56	0,181192	0,2633	3,266666	0,19	0,47	0,26	2,39	1,73	1,31	1,65 0,202197
1,81	1,99	0,131531	0,2433	1,476190	0,18	0,38	0,29	2,91	1,89	1,64	1,95 0,150976
1,35	1,62	0,171301	0,2567	2,666666	0,15	0,5	0,19	2,27	1,59	1,34	1,67 0,183606
1,39	1,85	0,213972	0,3420	1,758241	0,26	0,44	0,31	2,6	1,61	1,51	1,79 0,208677
1,44	1,79	0,212278	0,3400	1,4	0,31	0,64	0,31	2,28	1,76	1,47	1,73 0,253776
1,41	1,61	0,181415	0,2733	1,813953	0,15	0,35	0,28	2,29	1,57	1,36	1,62 0,171052
1,44	1,77	0,164904	0,2600	1,804878	0,21	0,5	0,32	2,46	1,64	1,47	1,77 0,213029
1,71	1,82	0,219441	0,3800	1,507692	0,3	0,53	0,37	2,7	1,68	1,65	1,9 0,226201
1,78	1,88	0,211610	0,3767	1,275362	0,33	0,41	0,38	2,72	1,83	1,68	1,71 0,209541
1,41	1,67	0,232967	0,3533	1,719298	0,27	0,51	0,29	2,04	1,65	1,45	1,74 0,227659
1,65	1,95	0,184586	0,3233	1,88	0,25	0,47	0,35	2,33	1,82	1,7	1,93 0,196872
1,54	1,67	0,183716	0,2933	1,52	0,27	0,4	0,31	2,21	1,59	1,57	1,77 0,200614
1,81	1,93	0,159276	0,2933	1,52	0,24	0,4	0,35	2,59	1,96	1,83	1,95 0,174295
1,87	1,96	0,200348	0,3833	1,285714	0,32	0,43	0,43	2,91	2,01	1,89	2,03 0,199661
1,69	1,93	0,226824	0,4143	1,623906	0,335	0,63	0,438	2,82	1,95	1,73	1,98 0,249644
1,72	1,899	0,206463	0,3450	1,219284	0,406	0,457	0,322	2,52	1,732	1,709	1,916 0,226037
1,78	2,005	0,186948	0,3567	2	0,36	0,594	0,377	2,658	1,99	1,809	2,11 0,227055
1,584	1,82	0,233582	0,3853	1,846921	0,272	0,566	0,368	2,332	1,77	1,548	1,831 0,234038
1,596	1,813	0,193	0,3247	1,735	0,267	0,471	0,323	2,520	1,754	1,599	1,841 0,205
0,180	0,143	0,026	0,0504	0,474	0,073	0,086	0,065	0,239	0,145	0,174	0,139 0,029

Θ8-9				Θ9				DHI		disc conv		Θ9-10			
B	Y	δ	α	B	Y	DHI 8-9	MEAN HEIGHT 8-9	disc conv	α	B	Y	δ	α		
0,44	0,17	2,96	1,62	1,49	1,85	0,186991	0,3067	1,833333	0,45	0,56	0,15	3,02	1,74		
0,52	0,35	2,96	2,11	1,94	2,12	0,211046	0,4267	1,368421	0,41	0,66	0,36	3,03	2,35		
0,5	0,22	2,82	1,64	1,44	1,69	0,215098	0,3467	1,851851	0,39	0,52	0,29	3,05	1,95		
0,45	0,26	3,35	2,1	1,91	2,05	0,168224	0,3300	1,666666	0,4	0,57	0,27	3,55	2,09		
0,46	0,24	2,51	1,68	1,48	1,79	0,194974	0,3233	1,803921	0,28	0,54	0,25	2,68	1,86		
0,4	0,27	2,74	1,63	1,62	1,83	0,221568	0,3767	1,095890	0,41	0,49	0,3	2,8	1,91		
0,59	0,33	2,64	2,02	1,62	2	0,236578	0,4333	1,661971	0,49	0,74	0,45	2,73	2,2		
0,49	0,37	2,56	1,6	1,45	1,6	0,287581	0,4400	1,180722	0,49	0,49	0,4	2,58	1,78		
0,62	0,32	2,51	1,65	1,46	1,83	0,259371	0,4267	1,878787	0,39	0,69	0,34	2,58	1,89		
0,66	0,47	3,1	1,91	1,72	2,03	0,282882	0,5233	1,450549	0,43	0,71	0,52	3,22	2,18		
0,5	0,4	3,02	2,02	2,05	2,14	0,216582	0,4267	1,282051	0,37	0,43	0,35	2,99	1,86		
0,57	0,33	2,32	1,79	1,6	1,81	0,225711	0,3833	1,965517	0,39	0,56	0,39	2,46	1,78		
0,49	0,3	2,64	2,04	1,84	2,08	0,186963	0,3633	1,633333	0,27	0,53	0,29	2,77	2,29		
0,45	0,29	2,59	1,94	1,7	1,91	0,189214	0,3333	1,636363	0,23	0,45	0,33	2,66	2,19		
0,56	0,36	2,94	2,09	1,82	2,09	0,207531	0,4133	1,647058	0,42	0,61	0,34	2,84	2,23		
0,51	0,47	3,18	1,95	2,08	2,16	0,217356	0,4467	1,228915	0,52	0,43	0,51	3,29	1,95		
0,663	0,381	3,04	2,18	1,86	2,15	0,244975	0,4957	1,609223	0,444	0,565	0,323	3,1	2,16		
0,378	0,435	2,826	1,812	1,888	1,874	0,241807	0,4353	0,814655	0,448	0,544	0,412	2,862	1,926		
0,478	0,351	2,84	1,981	1,936	2,17	0,202693	0,4063	1,290148	0,473	0,539	0,341	3	2,108		
0,459	0,398	2,687	1,702	1,67	1,908	0,250615	0,4410	1,0625	0,415	0,661	0,392	2,682	2,022		
0,509	0,336	2,812	1,873	1,729	1,954	0,222	0,4039	1,498	0,406	0,564	0,350	2,895	2,023		
0,077	0,078	0,253	0,190	0,201	0,164	0,031	0,0562	0,310	0,072	0,088	0,084	0,265	0,179		

Θ10		DHI		MEAN HEIGHT 9-10	disc conv α	Θ10-11				Θ11		DHI	
B	Y	DHI 9-10				B	Y	δ	α	B	Y	DHI 10-11	
1,58	2	0,225680	0,3867	1,866666	0,51	0,56	0,32	3,21	1,85	1,68	2,08	0,254345	
2,16	2,4	0,218654	0,4767	1,714285	0,57	0,59	0,33	3,11	2,15	2,34	2,59	0,213009	
1,52	1,87	0,237388	0,4000	1,529411	0,36	0,68	0,28	2,9	2,06	1,85	2,18	0,230971	
1,85	2,33	0,201135	0,4133	1,701492	0,53	0,8	0,26	3,52	2,32	1,99	2,57	0,241825	
1,64	1,92	0,206364	0,3567	2,037735	0,46	0,5	0,29	2,61	1,82	1,8	2,17	0,223015	
1,71	1,96	0,225140	0,4000	1,380281	0,33	0,51	0,28	2,76	2,04	1,92	2,17	0,191289	
1,79	2,08	0,286934	0,5600	1,574468	0,47	0,72	0,58	2,7	2,19	1,83	2,17	0,288743	
1,54	1,73	0,284536	0,4600	1,101123	0,34	0,55	0,38	2,57	1,82	1,7	1,97	0,240986	
1,63	1,97	0,272291	0,4733	1,890410	0,35	0,67	0,37	2,55	2,09	1,78	2,05	0,243645	
1,87	2,1	0,281117	0,5533	1,494736	0,43	0,7	0,39	3,23	2,27	2,03	2,34	0,237685	
2,17	2,29	0,183559	0,3833	1,194444	0,58	0,41	0,43	3,3	2,05	2,3	2,44	0,216628	
1,66	1,87	0,254995	0,4467	1,435897	0,47	0,63	0,45	2,45	1,95	1,79	2,1	0,278026	
1,98	2,25	0,174679	0,3633	1,892857	0,33	0,59	0,37	2,91	2,27	2,13	2,43	0,193258	
1,85	1,99	0,174438	0,3367	1,607142	0,26	0,46	0,23	2,72	2,08	2,06	2,24	0,153102	
2,01	2,33	0,217979	0,4567	1,605263	0,27	0,4	0,224	2,85	2,33	2,25	2,53	0,130701	
2,16	2,43	0,229379	0,4867	0,834951	0,682	0,5135	0,457	3,419	2,16	2,251	2,561	0,244597	
2,07	2,3	0,209433	0,4440	1,473272	0,468	0,527	0,429	3,23	2,07	2,18	2,41	0,215921	
1,919	2,093	0,243919	0,4680	1,265116	0,5945	0,566	0,443	2,983	2,132	2,144	2,286	0,25656	
2,085	2,345	0,214336	0,4510	1,324324	0,47	0,636	0,324	3,01	2,224	2,172	2,491	0,213035	
1,663	2,023	0,267200	0,4893	1,638166	0,4005	0,696	0,372	2,728	2,069	1,879	2,123	0,249342	
1,843	2,114	0,230	0,4403	1,528	0,444	0,585	0,360	2,938	2,097	2,004	2,295	0,226	
0,213	0,200	0,034	0,0589	0,287	0,111	0,104	0,087	0,300	0,149	0,204	0,190	0,037	

	disc conve	Θ11-12					Θ12			DHI	disc conve
MEAN HEIGHT 10	disc conve	α	β	γ	δ	α	β	γ	DHI 11-12	MEAN HEIGHT 11-12	disc conve
0,4633	1,349397	0,43	0,69		0,44	3,15	1,94	1,8	2,19	0,270363	0,52 1,586206
0,4967	1,311111	0,7	0,51		0,45	3,24	2,21	2,6	2,79	0,226158	0,553333 0,886956
0,4400	2,125	0,29	0,53		0,25	2,82	2,27	1,97	2,3	0,169437	0,356666 1,962962
0,5300	2,025316	0,545	0,803		0,281	3,34	2,38	2,22	2,78	0,228471	0,543 1,944309
0,4167	1,333333	0,46	0,56		0,33	2,67	2,09	1,96	2,33	0,221857	0,45 1,417721
0,3733	1,672131	0,51	0,57		0,38	2,72	2,13	2,12	2,15	0,233040	0,486666 1,280898
0,5900	1,371428	0,284	0,76		0,524	2,7	2,37	2,02	2,22	0,245 0,522666	1,881188
0,4233	1,527777	0,48	0,55		0,5	2,68	1,94	1,97	2,08	0,266550	0,51 1,122448
0,4633	1,861111	0,36	0,84		0,4	2,55	2,18	1,77	2,24	0,264244	0,533333 2,210526
0,5067	1,707317	0,52	0,72		0,44	3,19	2,27	2,24	2,5	0,246153	0,56 1,5
0,4733	0,811881	0,63	0,6		0,41	3,13	2,34	2,56	2,48	0,231474	0,546666 1,153846
0,5167	1,369565	0,4	0,62		0,43	2,44	2,15	1,98	2,19	0,238486	0,483333 1,493975
0,4300	1,685714	0,44	0,6		0,3	3,05	2,37	2,39	2,68	0,187806	0,446666 1,621621
0,3167	1,877551	0,47	0,48		0,37	2,84	2,2	2,26	2,3	0,200913	0,44 1,142857
0,2980	1,619433	0,48	0,47		0,38	3,04	2,34	2,34	2,56	0,185365	0,443333 1,093023
0,5508	0,901668	0,612	0,574		0,456	3,46	2,27	2,426	2,656	0,229265	0,547333 1,074906
0,4747	1,175027	0,7	0,733		0,585	3,09	2,17	2,41	2,65	0,290568	0,672666 1,140856
0,5345	1,091084	0,573	0,563		0,507	2,916	2,201	2,33	2,38	0,243895	0,547666 1,042592
0,4767	1,602015	0,504	0,533		0,408	3,096	2,419	2,38	2,62	0,202013	0,481666 1,168859
0,4895	1,801941	0,423	0,665		0,414	2,923	2,146	2,006	2,385	0,238261	0,500666 1,589008
0,4632	1,511	0,491	0,619		0,413	2,952	2,219	2,188	2,424	0,231	0,507 1,416
0,0716	0,345	0,113	0,104		0,081	0,265	0,131	0,237	0,214	0,030	0,063 0,358

02	DH12	convex	MH1-2	ant2-3	02 - 03		03	DH13	convex	MH2-3	ant3-4	03 - 04		04	
					post2-3	δ						post3-4	δ		
2.47	2.175	2.295	0.281721	1.281114012	0.6283333333	0.737	0.848	0.637	3.426	2.395	2.158	2.274	0.322800	1.234355	0.7406666666
2.333	2.083	2.511	0.368227	1.243839169	0.8336666666	0.804	1.134	0.669	3.451	2.45	2.286	0.303472	1.539714	0.869	1.013
2.636	2.557	2.854	0.287862	1.172701948	0.7593333333	0.866	0.95	0.645	4.283	2.783	2.592	2.848	0.302519	1.257448	0.8203333333
2.036	2.089	2.401	0.361572	1.22327397	0.823	1.062	1.081	0.83	3.725	2.445	2.325	2.606	0.427708	1.142706	0.991
2.409	2.125	2.421	0.303476	1.371794871	0.7013333333	0.974	0.949	0.54	3.164	2.424	2.266	2.354	0.427708	1.444444	0.7543333333
2.484	2.331	2.548	0.295086	1.368174726	0.7196666666	0.927	1.012	0.647	3.621	2.581	2.31	2.594	0.348329	1.285895	0.862
2.69	2.452	2.731	0.272219	1.165671641	0.707	0.835	1.049	0.654	3.911	2.771	2.434	2.788	0.332534	1.543317	0.8793333333
2.733	2.546	2.931	0.331471	1.415501905	0.896	1.135	1.357	1.002	4.137	2.674	2.482	2.825	0.327004	1.1646666666	1.235
2.673	2.284	2.627	0.334602	1.449035817	0.8346666666	0.935	1.146	0.656	3.594	2.728	2.267	2.753	0.356333	1.440603	0.9123333333
2.516	2.227	2.497	0.319576	1.354273192	0.7633333333	0.853	1.143	0.824	3.416	2.669	2.311	2.465	0.384055	1.363148	0.94
2.594	2.482	2.86	0.276681	1.431561996	0.7103333333	0.912	1.106	0.494	3.503	2.588	2.156	2.738	0.323357	1.573257	0.8373333333
2.571	2.154	2.654	0.379355	1.454317897	0.932	1.288	1.395	1.015	3.791	2.553	2.35	2.44	0.509085	1.211463	1.2326666666
2.667	2.383	2.755	0.273864	1.609671848	0.6966666666	0.809	0.989	0.491	3.312	2.589	2.35	2.734	0.295774	1.521538	0.763
2.57	2.419	2.574	0.299736	1.096670398	0.738	0.873	1.006	0.683	3.593	2.629	2.43	2.618	0.336220	1.293059	0.854
2.747	2.546	2.705	0.285839	1.306859205	0.7633333333	1.014	1.092	0.759	4.102	2.73	2.534	2.848	0.355679	1.231810	0.955
2.397	2.174	2.382	0.341570	1.32404255	0.781	1.025	1.126	0.896	3.814	2.682	2.218	2.462	0.425707	1.172306	1.0156666666
2.397	2.029	2.448	0.324071	1.552117263	0.727	0.713	1.109	0.675	3.828	2.922	2.57	2.85	0.335376	1.387116	0.9026666666
2.557	2.392	2.672	0.221467	1.335299901	0.5653333333	0.707	0.925	0.617	3.472	2.745	2.193	2.641	0.295921	1.397280	0.7496666666
2.428	2.348	2.308	0.342320	1.009380863	0.956	0.944	0.9	0.9	3.69	2.564	2.412	2.268	0.390843	1.017247	0.9333333333
2.44	2.084	2.485	0.319183	1.652754590	0.7293333333	0.821	1.119	0.449	3.385	2.42	2.194	2.292	0.376289	1.593291	0.857
2.628	2.184	2.925	0.270248	1.781481481	0.6806666666	0.64	1.119	0.449	3.755	2.736	2.174	2.836	0.286216	2.055096	0.736
2.521	2.489	2.67	0.234235	1.287184284	0.5856666666	0.898	0.813	0.646	3.425	2.541	2.5	2.587	0.307943	1.053108	0.7856666666
2.38	2.18	2.4	0.320302	2.283114256	0.706	0.672	1.12	0.46	3.593	2.481	1.987	2.271	0.333160	1.978796	0.7506666666
2.515	2.269	2.593	0.356105	1.234771573	0.8496666666	0.807	1.169	0.879	3.745	2.851	2.292	2.596	0.278740	1.468317	0.9516666666
2.792	2.506	2.989	0.327693	1.344764237	0.9103333333	1.149	1.327	0.806	4.03	2.704	2.482	2.868	0.401689	1.375544	1.094
2.753	2.325	2.918	0.379093	1.327008928	0.9936666666	1.128	1.298	0.756	3.841	2.755	2.445	2.649	0.335924	0.869973	1.4273333333
2.716	2.079	2.217	0.366576	1.082384460	0.767	0.957	0.97	0.76	3.365	2.16	1.979	2.137	0.414920	1.152703	0.8843333333
2.418	2.184	2.38	0.253247	1.424926399	0.5816666666	0.704	0.835	0.555	3.061	2.503	2.17	2.372	0.298567	1.326449	0.698
2.659	2.511	2.542	0.296242	1.110344882	0.7516666666	1.005	0.949	0.677	3.581	2.597	2.445	2.607	0.342555	1.128418	0.877
2.133	2.754	3.051	0.208688	1.49203883	0.5996666666	0.783	1.008	0.59	3.621	2.84	2.25	2.842	0.327016	1.468317	0.8893333333
2.633	2.483	2.436	0.256979	1.030894308	0.6213333333	0.774	0.758	0.628	3.283	2.756	2.387	2.487	0.284547	1.081312	0.72
2.75	2.35	2.7	0.307461	1.295518207	0.7843333333	0.95	1.074	0.765	3.941	2.642	2.323	2.561	0.369561	1.252478	0.9296666666
2.683	2.23	2.61	0.308542	1.62055355	0.7633333333	0.959	1.118	0.591	3.369	2.53	2.25	2.506	0.360321	1.442580	0.8893333333
2.609	2.213	2.419	0.296158	1.469354838	0.717	0.777	1.037	0.591	3.3	2.728	2.149	2.489	0.329294	1.516081	0.8016666666
2.475	2.125	2.584	0.303471	1.322934661	0.708	0.918	1.14	0.556	3.217	2.44	2.108	2.4	0.369540	1.546811	0.8713333333
2.528	2.266	2.859	0.345981	1.501976284	0.886	0.991	1.236	0.584	3.831	2.66	2.244	2.636	0.370160	1.569523	0.937
2.735	2.412	2.74	0.308520	1.391788448	0.8123333333	1.028	1.217	0.717	3.809	2.814	2.426	2.813	0.371643	1.394642	0.9873333333
2.545	2.168	2.137	0.320017	1.36755204	0.7223333333	0.727	0.937	0.635	3.628	2.4	2.136	2.227	0.337765	1.375917	0.7663333333
2.612	2.233	2.793	0.304688	1.477255204	0.7516666666	0.96	1.207	0.663	3.602	2.467	2.158	2.675	0.378899	1.487360	0.9433333333
2.584	2.614	2.78	0.270524	1.32638497	0.709	0.801	0.795	0.651	4.086	2.485	2.524	2.758	0.285242	1.095041	0.749
2.416	2.317	2.531	0.299147	1.359813084	0.719	0.982	0.976	0.774	3.386	2.498	2.229	2.479	0.377608	1.116117	0.9106666666
2.984	2.508	2.698	0.327454	1.176541717	0.8756666666	1.155	1.269	0.885	3.98	2.622	2.418	2.658	0.416540	1.244117	1.103
2.861	2.377	2.608	0.368223	0.64738209	0.917	0.705	0.935	0.592	3.338	2.577	2.359	2.582	0.374811	1.441788	0.744
2.819	2.461	2.837	0.330295	1.316088328	0.876	1.007	1.173	0.61	3.993	2.763	2.265	2.746	0.348946	1.450834	0.93
2.415	2.22	2.447	0.243776	1.543897216	0.5516666666	0.616	0.791	0.592	3.315	2.477	2.257	2.571	0.277889	1.309640	0.6663333333
2.524	2.193	2.409	0.305067	1.399053627	0.7183333333	0.714	1.047	0.747	3.532	2.961	2.108	2.425	0.302791	1.333264	0.836
2.746	2.342	2.763	0.274977	1.504065040	0.7183333333	0.888	1.195	0.685	3.803	2.949	2.241	2.509	0.356012	1.519388	0.9226666666
2.874	2.473	3.017	0.243078	1.646623496	0.657	0.89	1.081	0.564	3.769	2.969	2.565	2.924	0.301391	1.486932	0.845
2.309	2.091	2.56	0.396921	1.474093264	0.894	1.12	1.288	0.657	3.268	2.533	2.105	2.555	0.431588	1.449634	1.0216666666
2.578	2.308	2.619	0.307	1.366	0.753	0.895	1.070	0.699	3.623	2.627	2.294	2.574	0.336	1.369	0.888
0.182	0.177	0.210	0.041	0.226	0.097	0.146	0.147	0.207	0.276	0.154	0.159	0.194	0.054	0.213	0.140

DH14	convex	mean height	ant4-5	O4 - O5	O5	DH15	convex	mean height
	convex	MH3-4		post4-5	δ			MH4-5
0.400895	1.243961	0.895333333	1.274	1.236	0.859	3.467	2.432	1.123
0.452747	1.398300	0.996666666	1.196	1.274	0.766	3.489	2.394	1.07866666666
0.407127	1.201163	1.100666666	1.327	1.114	0.748	4.286	2.908	1.063
0.466581	1.325393	1.163333333	1.035	1.236	0.781	3.645	2.8	1.01733333333
0.399349	1.239242	0.941	1.283	1.158	0.743	3.411	2.455	1.06133333333
0.369781	1.260191	0.906333333	1.201	1.089	0.77	3.618	2.637	1.02
0.314482	1.552217	0.827666666	1.225	1.342	0.805	4.012	2.951	1.124
0.465828	1.297661	1.222333333	1.358	1.466	0.83	4.154	3.111	1.218
0.382371	1.633699	0.992	1.289	1.129	0.621	3.766	2.815	1.013
0.384778	1.326650	0.940333333	1.123	1.282	0.795	3.413	2.719	1.06666666666
0.403609	1.407449	1.006333333	1.456	1.244	0.912	3.728	2.614	1.204
0.476557	1.210745	1.155333333	1.503	1.345	0.867	4.097	2.323	1.23833333333
0.315339	1.516129	0.799333333	0.95	0.985	0.609	3.274	2.739	0.848
0.379390	1.273029	0.983	1.2	1.158	0.758	3.531	2.99	1.03866666666
0.409281	1.299292	1.087666666	1.457	1.312	0.802	4.086	2.702	1.03866666666
0.390742	1.558823	0.968	1.009	1.105	0.66	3.995	2.684	1.19033333333
0.355273	1.271007	0.979666666	1.367	1.307	0.529	4.042	2.713	0.94466666666
0.349975	1.524964	0.823666666	1.003	1.062	0.583	3.379	2.684	0.88266666666
0.343953	1.566414	0.863666666	0.9	1.076	0.565	3.509	3.005	0.847
0.456432	0.958352	1.077333333	1.342	1.113	1.14	3.825	2.447	1.19833333333
0.490225	1.425092	1.078333333	1.289	1.35	0.855	3.512	2.378	1.16466666666
0.366995	1.817562	0.934666666	1.044	1.469	0.922	4.028	1.907	1.145
0.382484	1.127707	0.939	1.272	0.986	0.673	3.62	2.516	0.977
0.396076	1.380191	0.881666666	1.239	1.238	0.666	3.647	2.346	1.04766666666
0.398829	1.178849	1.022	1.138	0.953	0.743	3.607	2.823	0.94466666666
0.423380	1.329323	1.107	1.576	1.454	0.694	4.198	2.518	1.24133333333
0.398415	1.072449	1.039	1.386	1.176	0.665	4.027	2.821	1.08233333333
0.481553	1.186295	0.992	1.2	1.145	0.805	3.504	2.385	1.05
0.366072	1.238981	0.869666666	1.145	1.003	0.681	3.033	2.708	0.943
0.377275	1.064220	0.946333333	1.347	1.039	0.777	3.939	2.814	1.05433333333
0.332997	1.251982	0.888333333	1.113	1.056	0.612	4.104	2.863	0.927
0.304442	1.238700	0.764333333	0.989	0.896	0.655	3.642	2.737	0.84666666666
0.420629	1.262404	1.063	1.18	1.124	0.788	3.883	2.85	1.03066666666
0.372236	1.504848	0.903666666	1.312	1.203	0.67	3.588	2.593	1.06166666666
0.396078	1.372972	0.936	1.38	1.345	0.89	3.218	2.816	1.205
0.408002	1.257273	0.951666666	1.216	1.09	0.898	3.281	2.64	1.068
0.410306	1.367346	0.99	1.275	1.303	0.99	3.874	2.7	1.18933333333
0.380291	1.384615	1.004666666	1.352	1.335	0.845	4.025	2.847	1.17733333333
0.384153	1.506784	0.990666666	1.111	1.256	0.663	3.773	2.934	1.01
0.457283	1.206896	0.992	1.442	1.249	0.885	3.707	2.226	1.192
0.421523	1.470655	1.005333333	1.283	1.382	1.01	3.611	2.519	1.225
0.341568	1.255465	0.868666666	1.01	1.15	0.873	4.424	2.625	1.011
0.448683	1.147654	1.062333333	1.302	1.374	0.987	3.496	2.545	1.221
0.411803	1.242051	1.053666666	1.427	1.125	0.736	4.077	3.011	1.096
0.404979	1.306593	1.003	1.389	1.206	1.019	3.428	2.687	1.20466666666
0.435373	1.380440	1.100333333	1.275	1.368	0.884	4.476	2.589	1.17566666666
0.351418	1.349604	0.846333333	1.002	1.064	0.572	3.422	2.42	1.07933333333
0.396853	1.373493	0.933333333	0.999	1.096	0.682	3.498	2.551	0.92566666666
0.452260	1.244821	1.148666666	1.354	1.415	0.966	4.089	2.876	1.25166666666
0.307131	1.398437	0.87	1.132	1.26	0.684	3.655	3.068	1.02533333333
0.472925	1.321867	1.126666666	1.423	1.435	0.77	3.37	2.568	1.02093333333
0.398	1.328	0.981	1.237	1.207	0.779	3.732	2.683	1.075
0.046	0.152	0.100	0.156	0.141	0.131	0.324	0.203	0.114

ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ ΕΘΕΛΟΝΤΩΝ

Ον/μο	Ηλικία	Φύλο	Βάρος	1ΠΡΩΙ	1ΑΠΟΓΕΥΜΑ	2ΠΡΩΙ	2ΑΠΟΓΕΥΜΑ	A2-3				MEAN HEIGHT	disc convexity	A2-3			
				Υψος				α	β	γ	δ			α	β	γ	δ
	19	1	83,00	175,0	174,5	175,0	174,9	0,408	0,537	0,506	1,799	0,483666667	1,1750547	0,423	0,605	0,443	1,696
	23	1	92,00	177,0	174,0	177,0	175,0	0,554	0,532	0,500	1,520	0,53	1,01	0,497	0,529	0,576	1,665
	22	1	67,00	176,0	174,0	175,0	176,0	0,353	0,413	0,421	1,419	0,395666667	1,0671835	0,293	0,444	0,352	1,487
	20	1	106,00	183,0	178,0	181,0	179,0	0,474	0,477	0,353	1,519	0,434666667	1,1535671	0,361	0,371	0,277	1,506
	20	1	102,00	181,0	180,5	180,7	180,9	0,492	0,508	0,238	1,543	0,412666667	1,3917808	0,443	0,499	0,272	1,606
	23	0	66,00	172,0	170,0	171,4	170,9	0,392	0,498	0,323	1,436	0,404333333	1,3930007	0,363	0,467	0,345	1,594
	28	0	50,00	167,0	165,0	167,0	164,0	0,530	0,460	0,267	1,546	0,419	1,1543287	0,409	0,443	0,265	1,525
	20	0	58,00	155,0	154,0	155,0	154,0	0,394	0,514	0,302	1,476	0,403333333	1,4770115	0,359	0,465	0,273	1,431
	22	0	63,00	169,0	168,0	169,0	169,0	0,438	0,513	0,525	1,505	0,492	1,0654206	0,43	0,5	0,448	1,555
	22	0	74,00	173,0	171,5	173,0	172,5	0,447	0,578	0,488	1,495	0,504333333	1,2363636	0,414	0,541	0,521	1,506
	21,9		76,1	172,8													
	2,4269322		17,985828	7,5471849													

MEAN HEIGHT	disc convexity	ΔΙΑΦΟΡΑ				A3-4				MEAN HEIGHT	disc convexity	A3-4				MEAN HEIGHT	disc convexity
		α	β	γ	δ	α	β	γ	δ			α	β	γ	δ		
0,4903333	1,3972286	-0,015	-0,068	0,063	0,103	0,400	0,459	0,363	1,700	0,407	1,203	0,417	0,517	0,463	1,741	0,466	1,175
0,53	0,99	0,06	0,00	-0,08	-0,15	0,426	0,449	0,424	1,463	0,433	1,056	0,518	0,466	0,369	1,545	0,451	1,051
0,363	1,3767442	0,06	-0,031	0,069	-0,068	0,286	0,459	0,392	1,560	0,379	1,354	0,361	0,511	0,423	1,518	0,432	1,304
0,3363333	1,1630094	0,113	0,106	0,076	0,013	0,343	0,453	0,271	1,416	0,356	1,476	0,493	0,484	0,316	1,436	0,431	1,197
0,4046667	1,3958042	0,049	0,009	-0,034	-0,063	0,381	0,475	0,322	1,650	0,393	1,351	0,388	0,541	0,341	1,727	0,423	1,484
0,3916667	1,319209	0,029	0,031	-0,022	-0,158	0,259	0,591	0,409	1,620	0,420	1,769	0,345	0,55	0,428	1,642	0,441	1,423
0,3723333	1,3145401	0,121	0,017	0,002	0,021	0,367	0,469	0,318	1,580	0,385	1,369	0,379	0,473	0,369	1,49	0,407	1,265
0,3656667	1,471519	0,035	0,049	0,029	0,045	0,315	0,478	0,304	1,489	0,366	1,543	0,345	0,479	0,3	1,452	0,375	1,485
0,4593333	1,1389522	0,008	0,013	0,077	-0,05	0,304	0,543	0,414	1,539	0,420	1,513	0,348	0,517	0,296	1,568	0,387	1,606
0,492	1,1572193	0,033	0,037	-0,033	-0,011	0,393	0,509	0,467	1,311	0,456	1,184	0,414	0,487	0,418	1,517	0,440	1,171

ΔΙΑΦΟΡΑ				A4-5				MEAN HEIGHT	disc convexity	A4-5				MEAN HEIGHT	disc convexity	ΔΙΑΦΟΡΑ			
α	β	γ	δ	α	β	γ	δ			α	β	γ	δ			α	β	γ	δ
-0,017	-0,058	-0,1	-0,041	0,357	0,401	0,265	1,606	0,341	1,289	0,496	0,492	0,354	1,721	0,447	1,158	-0,139	-0,091	-0,089	-0,115
-0,09	-0,02	0,06	-0,08	0,468	0,466	0,474	1,333	0,469	0,989	0,469	0,398	0,430	1,465	0,432	0,885	0,00	0,07	0,04	-0,13
-0,075	-0,052	-0,031	0,042	0,447	0,461	0,378	1,560	0,429	1,118	0,388	0,435	0,389	1,504	0,404	1,120	0,059	0,026	-0,011	0,056
-0,15	-0,031	-0,045	-0,02	0,463	0,477	0,293	1,536	0,411	1,262	0,541	0,513	0,334	1,634	0,463	1,173	-0,078	-0,036	-0,041	-0,098
-0,007	-0,066	-0,019	-0,077	0,406	0,436	0,342	1,670	0,395	1,166	0,419	0,44	0,415	1,766	0,425	1,055	-0,013	-0,004	-0,073	-0,096
-0,086	0,041	-0,019	-0,022	0,322	0,555	0,352	1,630	0,410	1,647	0,318	0,49	0,273	1,62	0,360	1,658	0,004	0,065	0,079	0,01
-0,012	-0,004	-0,051	0,09	0,387	0,446	0,335	1,600	0,389	1,235	0,438	0,494	0,322	1,63	0,418	1,300	-0,051	-0,048	0,013	-0,03
-0,03	-0,0015	0,004	0,037	0,270	0,440	0,332	1,350	0,347	1,462	0,347	0,408	0,346	1,444	0,367	1,177	-0,077	0,032	-0,014	-0,094
-0,044	0,026	0,118	-0,029	0,321	0,456	0,373	1,355	0,383	1,314	0,35	0,424	0,364	1,536	0,379	1,188	-0,029	0,032	0,009	-0,181
-0,021	0,022	0,049	-0,206	0,507	0,516	0,500	1,366	0,508	1,025	0,395	0,491	0,462	1,412	0,449	1,146	0,112	0,025	0,038	-0,046

A5-6				MEAN HEIGHT	disc convexity	A5-6				MEAN HEIGHT	disc convexity	ΔΙΑΦΟΡΑ				A6-7			
α	β	γ	δ			α	β	γ	δ			α	β	γ	δ	α	β	γ	δ
0,488	0,436	0,271	1,598	0,398	1,149	0,416	0,512	0,295	1,664	0,408	1,440	0,072	-0,076	-0,024	-0,066	0,507	0,504	0,291	1,593
0,555	0,562	0,517	1,564	0,545	1,049	0,464	0,494	0,450	1,554	0,469	1,081	0,09	0,07	0,07	0,01	0,584	0,621	0,408	1,580
0,438	0,482	0,386	1,510	0,435	1,170	0,384	0,464	0,323	1,591	0,390	1,313	0,054	0,018	0,063	-0,081	0,409	0,475	0,314	1,550
0,343	0,567	0,481	1,606	0,464	1,376	0,362	0,525	0,305	1,802	0,397	1,574	-0,019	0,042	0,176	-0,196	0,456	0,629	0,476	1,772
0,362	0,532	0,419	1,780	0,438	1,362	0,387	0,532	0,458	1,844	0,459	1,259	-0,025	0	-0,039	-0,064	0,434	0,650	0,393	1,750
0,466	0,538	0,402	1,570	0,469	1,240	0,443	0,465	0,305	1,614	0,404	1,243	0,023	0,073	0,097	-0,044	0,566	0,604	0,295	1,550
0,364	0,470	0,311	1,590	0,382	1,393	0,39	0,484	0,328	1,598	0,401	1,348	-0,026	-0,014	-0,017	-0,008	0,369	0,516	0,311	1,590
0,380	0,474	0,304	1,394	0,386	1,386	0,424	0,457	0,318	1,508	0,400	1,232	-0,044	0,017	-0,014	-0,114	0,311	0,496	0,282	1,472
0,500	0,455	0,400	1,600	0,452	1,011	0,471	0,44	0,379	1,65	0,430	1,035	0,029	0,015	0,021	-0,05	0,343	0,532	0,319	1,636
0,417	0,536	0,496	1,543	0,483	1,174	0,377	0,528	0,474	1,602	0,460	1,241	0,04	0,008	0,022	-0,059	0,417	0,587	0,502	1,544

MEAN HEIGHT	disc convexity	A6-7				MEAN HEIGHT	disc convexity	ΔΙΑΦΟΡΑ				A7-Θ1				MEAN HEIGHT	disc convexity
		α	β	γ	δ			α	β	γ	δ	α	β	γ	δ		
0,434	1,263	0,346	0,538	0,376	1,757	0,420	1,490	0,161	-0,034	-0,085	-0,164	0,298	0,517	0,366	1,637	0,394	1,557
0,538	1,252	0,474	0,635	0,336	1,646	0,482	1,568	0,11	-0,01	0,07	-0,07	0,478	0,463	0,347	1,721	0,429	1,122
0,399	1,314	0,393	0,472	0,322	1,682	0,396	1,320	0,016	0,003	-0,008	-0,132	0,382	0,468	0,219	1,450	0,356	1,557
0,520	1,350	0,452	0,601	0,403	2	0,485	1,406	0,004	0,028	0,073	-0,111	0,335	0,52	0,348	1,682	0,401	1,523
0,492	1,572	0,443	0,608	0,386	1,827	0,479	1,467	-0,009	0,042	0,007	-0,077	0,417	0,568	0,368	1,770	0,451	1,447
0,488	1,403	0,515	0,604	0,276	1,617	0,465	1,527	0,051	0	0,019	-0,067	0,343	0,489	0,273	1,470	0,368	1,588
0,399	1,518	0,417	0,565	0,301	1,591	0,428	1,574	-0,048	-0,049	0,01	-0,001	0,409	0,521	0,278	1,570	0,403	1,517
0,363	1,673	0,404	0,533	0,274	1,49	0,404	1,572	-0,093	-0,037	0,008	-0,018	0,313	0,461	0,284	1,393	0,353	1,544
0,398	1,607	0,425	0,524	0,346	1,655	0,432	1,359	-0,082	0,008	-0,027	-0,019	0,374	0,533	0,318	1,724	0,408	1,540
0,502	1,277	0,457	0,557	0,445	1,619	0,486	1,235	-0,04	0,03	0,057	-0,075	0,487	0,455	0,326	1,407	0,423	1,119

A7-G1				MEAN HEIGHT disc convexity				ΔΙΑΦΑΡΑ				G1-2				MEAN HEIGHT disc convexity				G1-2				MEAN HEIGHT																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
α	β	γ	δ			α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ

ΔΙΑΦΑΝΑ				% αμύληα				Θ8-9				MEAN HEIGHT disc convexity				Θ8-9				MEAN HEIGHT disc convexity				ΔΙΑΦΑΝΑ				% αμύληα			
β	γ	δ		α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ
0,132	0,331	-0,298		0,290604	0,38	0,5	0,4	3,02	0,4266667	1,2820513	0,514	0,37	0,398	3,125	0,427	0,811	-0,134	0,13	0,002	-0,105	-0,001563										
0,08	-0,05	0,22		0,05	0,36	0,51	0,47	3,18	0,4466667	1,2289157	0,23	0,427	0,352	2,953	0,336	1,467	0,13	0,08	0,12	0,23	0,25										
0,031	0,023	-0,13		0,1115385	0,26	0,45	0,29	2,59	0,3333333	1,6363636	0,339	0,478	0,293	2,663	0,370	1,513	-0,079	-0,028	-0,003	-0,073	-0,11										
0,024	0,015	-0,204		0,0605263	0,32	0,56	0,36	2,94	0,4133333	1,6470588	0,342	0,553	0,414	3,07	0,436	1,463	-0,022	0,007	-0,054	-0,13	-0,055645										
0,056	0,084	-0,027		0,1261784	0,39	0,478	0,351	2,84	0,4063333	1,2901484	0,482	0,464	0,329	2,838	0,425	1,144	-0,092	0,014	0,022	0,002	-0,045939										
0,04	0,103	-0,188		0,0645695	0,466	0,459	0,398	2,687	0,441	1,0625	0,333	0,4	0,344	2,978	0,359	1,182	0,133	0,059	0,054	-0,291	0,185941										
-0,021	0,029	-0,04		0,0313559	0,3	0,49	0,3	2,64	0,3633333	1,6333333	0,317	0,531	0,328	2,758	0,392	1,647	-0,017	-0,041	-0,028	-0,118	-0,078899										
-0,015	0,042	-0,141		0,0889831	0,25	0,57	0,33	2,32	0,3833333	1,96551724	0,303	0,549	0,336	2,361	0,396	1,718	-0,053	0,021	-0,006	-0,041	-0,033043										
0,042	-0,002	0,028		0,0813008	0,44	0,66	0,47	3,1	0,5233333	1,45054945	0,394	0,583	0,412	3,125	0,463	1,447	0,046	0,077	0,058	-0,025	0,1152866										
0,177	0,053	-0,187		0,1104051	0,493	0,378	0,435	2,826	0,4333333	0,81465517	0,437	0,475	0,414	2,86	0,442	1,116	0,056	-0,097	0,021	-0,034	-0,015314										
0,055	0,0632	-0,0971		0,1013395	0,3659	0,5055	0,3804	2,8143	0,4172667	1,4011093	0,3691	0,483	0,362	2,8731	0,4047	1,3508134	-0,0032	0,0225	0,0184	-0,0588	0,0207839										
0,0585338	0,0977607	0,138924		0,0692431	0,0797351	0,0731755	0,0617968	0,2480927	0,0493281	0,3170941	0,0826734	0,0669358	0,0416053	0,2245228	0,0386248	0,2648092	0,0871674	0,0637938	0,0463599	0,1234016	0,113764										

Θ9-10				MEAN HEIGHT disc convexity				Θ9-10				MEAN HEIGHT disc convexity				ΔΙΑΦΑΝΑ				% αμύληα				Θ10-11			
α	β	γ	δ	MEAN HEIGHT disc convexity	α	β	γ	δ	MEAN HEIGHT disc convexity	α	β	γ	δ	ΔΙΑΦΑΝΑ	α	β	γ	δ	% αμύληα	α	β	γ	δ				
0,37	0,43	0,35	2,99	0,3833333	1,1944444	0,476	0,374	0,354	3,144	0,401	0,901	-0,106	0,056	-0,004	-0,154	-0,046957	0,58	0,41	0,43	3,3							
0,52	0,43	0,51	3,29	0,4866667	0,8349515	0,38	0,447	0,594	2,995	0,474	0,918	0,14	-0,02	-0,08	0,30	0,03	0,682	0,5135	0,457	3,419							
0,23	0,45	0,33	2,66	0,3366667	1,6071429	0,222	0,391	0,347	2,879	0,320	1,374	0,008	0,059	-0,017	-0,239	0,049505	0,26	0,46	0,23	2,72							
0,42	0,61	0,34	2,84	0,4566667	1,6052632	0,384	0,599	0,355	3,167	0,446	1,621	0,036	0,011	-0,015	-0,327	0,023577	0,27	0,4	0,224	2,85							
0,473	0,539	0,341	3	0,451	1,3243243	0,406	0,467	0,307	2,876	0,393	1,310	0,067	0,072	0,034	0,124	0,127864	0,47	0,636	0,324	3,01							
0,415	0,661	0,392	2,682	0,4893333	1,638166	0,505	0,562	0,275	2,972	0,447	1,441	-0,09	0,099	0,117	-0,29	0,0858311	0,4005	0,696	0,372	2,728							
0,27	0,53	0,29	2,77	0,3633333	1,89285714	0,292	0,56	0,319	2,81	0,390	1,833	-0,022	-0,03	-0,029	-0,04	-0,074312	0,33	0,59	0,37	2,91							
0,39	0,56	0,39	2,66	0,4466667	1,43589744	0,467	0,581	0,403	2,426	0,484	1,336	-0,077	-0,021	-0,013	0,034	-0,082836	0,47	0,63	0,45	2,45							
0,43	0,71	0,52	3,22	0,5533333	1,49472684	0,405	0,684	0,375	3,265	0,488	1,754	0,025	0,026	0,145	-0,045	0,1180723	0,43	0,7	0,39	3,23							
0,448	0,544	0,412	2,862	0,468	1,26511628	0,49	0,572	0,435	2,969	0,499	1,237	-0,042	-0,028	-0,023	-0,107	-0,066239	0,5945	0,566	0,443	2,983							
0,396	0,5464	0,3875	2,8774	0,4435	1,42929	0,4027	0,5237	0,3764	2,9503	0,4342667	1,3724799	-0,0061	0,0111	-0,0729	0,0160599	0,4487	0,56015	0,369	2,96								
0,0838107	0,0899157	0,07719906	0,2425202	0,0619091	0,2778148	0,0856634	0,0942784	0,084682	0,2217007	0,059685	0,2960669	0,0729485	0,0443397	0,0661535	0,181161	0,0759945	0,1334682	0,048666	0,0814395	0,2807729							

MEAN HEIGHT disc convexity				MEAN HEIGHT disc convexity				ΔΙΑΦΑΝΑ				% αμύληα				Θ11-12				MEAN HEIGHT disc convexity				Θ11			
MEAN HEIGHT disc convexity α				β	γ	δ	MEAN HEIGHT disc convexity α				β	γ	δ	% αμύληα α				β	γ	δ	MEAN HEIGHT disc convexity α				β	γ	δ
0,4733333	0,8118812	0,72	0,361	0,507	3,529	0,529	0,588	-0,14	0,049	-0,077	-0,229	-0,11831	0,63	0,6	0,41	3,13	0,5466667	1,1538462	0,643	0,578							
0,5508333	0,9016681	0,485	0,497	0,48	3,153	0,487	1,030	0,20	0,02	-0,02	0,27	0,12	0,612	0,574	0,456	3,46	0,5473333	1,0749064	0,596	0,446							
0,3166667	1,877551	0,263	0,401	0,27	2,818	0,311	1,505	-0,003	0,059	-0,04	-0,098	0,0168421	0,47	0,48	0,37	2,84	0,44	1,1428571	0,353	0,46							
0,298	1,6194332	0,296	0,441	0,258	3,07	0,332	1,592	-0,026	-0,041	-0,034	-0,22	-0,112975	0,48	0,47	0,38	3,04	0,4433333	1,0930233	0,459	0,597							
0,4766667	1,6020151	0,485	0,518	0,316	2,96	0,440	1,293	-0,015	0,118	0,008	0,05	0,0776224	0,504	0,533	0,408	3,096	0,4816667	1,1688596	0,508	0,534							
0,4895	1,8019417	0,451	0,59	0,339	2,764	0,460	1,494	-0,0505	0,106	0,033	-0,036	0,0602656	0,423	0,665	0,414	2,923	0,5006667	1,5890084	0,417	0,562							
0,43	1,68571429	0,389	0,605	0,376	2,949	0,457	1,582	-0,059	-0,015	-0,006	-0,039	-0,062016	0,505	0,6	0,3	3,05	0,4683333	1,4906833	0,582	0,633							
0,5166667	1,36956522	0,39	0,565	0,372	2,484	0,442	1,483	0,08	0,065	0,078	-0,034	0,143871	0,4	0,62	0,43	2,44	0,4833333	1,4939759	0,565	0,713							
0,5066667	1,70731707	0,465	0,613	0,361	3,302	0,480	1,484	-0,035	0,087	0,029	-0,072	0,0532895	0,52	0,72	0,44	3,19	0,56	1,5	0,472	0,713							
0,5345	1,09108434	0,618	0,528	0,526	3,017	0,557	0,923	-0,0235	0,038	-0,083	-0,034	-0,042719	0,573	0,583	0,507	2,916	0,5476667	1,04259259	0,529	0,576							
0,4592833	1,4468171	0,4562	0,5119	0,3805	3,0046	0,4495333	1,2974259	-0,0075	0,04825	-0,0115	-0,0446	0,0131151	0,5117	0,5825	0,4115	3,0085	0,5019	1,2749753	0,5124	0,5832							
0,0825827	0,3637726	0,1301621	0,0827181	0,0898023	0,2754466	0,0732306	0,3213619	0,0854196	0,0481431	0,0478482	0,1319554	0,0880229	0,0714661	0,0733461	0,0523665	0,2508742	0,0432232	0,2035357	0,0842285	0,0870113							

MEAN HEIGHT disc convexity				ΔΙΑΦΑΝΑ				% αμύληα				Θ12-Θ1				MEAN HEIGHT disc convexity				Θ12-Θ1				MEAN HEIGHT disc convexity			
α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ
0,437	3,218	0,553	1,070	-0,013	0,022	-0,027	-0,088	-0,010976	0,559	0,503	0,374	3,693	0,479	1,078	0,854	0,424	0,395	3,61	0,558	0,679							
0,439	3,444	0,494	0,862	0,02	0,13	0,02	0,02	0,10	0,658	0,598	0,626	3,541	0,627	0,931	0,736	0,641	0,497	3,551	0,625	1,040							
0,384	2,929	0,399	1,248	0,117	0,02	-0,014	-0,089	0,0931818	0,556	0,44	0,549	3,074	0,515	0,796	0,549	0,423	0,418	3,047	0,463	0,875							
0,408	3,229	0,488	1,377	0,021	-0,127	-0,028	-0,189	-0,100752	0,599	0,616	0,562	3,394	0,592	1,061	0,525	0,525	0,498	3,477	0,516	1,026							
0,414	3,025	0,485	1,158	-0,004	-0,001	-0,006	0,071	-0,007612	0,648	0,584	0,325	3,13	0,519	1,200	0,656	0,575	0,351	3,154	0,527	1,142							
0,409	2,978	0,463	1,361	0,006	0,103	0,005	-0,055	0,078988	0,606	0,719	0,455	2,934	0,593	1,355	0,562	0,633	0,399	2,932	0,531	1,317							
0,425	3,029	0,553	1,297	-0,077	-0,053	-0,125	0,021	-0,181495	0,585	0,672	0,439	3,211	0,565	1,313	0,659	0,681	0,422	1,833	0,587	1,260							
0,465	2,617	0,581	1,384	-0,165	-0,093	-0,035	-0,177	-0,202069	0,64	0,634	0,408	2,579	0,561	1,210	0,588	0,761	0,525	2,688	0,625	1,367							
0,362	3,27	0,516	1,710	0,046	0,007	0,078	-0,08	0,0791667	0,663	0,876	0,595	3,707	0,711	1,393	0,553	0,734	0,446	3,629	0,578	1,469							
0,554	3,103	0,553	1,064	0,044	-0,013	-0,047	-0,187	-0,009738	0,77	0,653	0,582	3,08	0,668	0,966	0,686	0,687	0,635	3,397	0,669	1,040							
0,4297	3,0842	0,5084333	1,251731	-0,0007	-0,007	-0,0182	-0,0757	-0,1051334	0,6284	0,6295	0,4915	3,2543	0,583133	1,1304064	0,6368	0,6084	0,4886	3,2668	0,5679333	1,1216341							
0,049575	0,2125638	0,0514941	0,2204797	0,0721083	-0,7400178	0,0488877	0,086915	0,1067339	0,0599587	0,1123871	0,0989235	0,3367409	0,0680337	0,1869404	0,097727	0,1134136	0,07002	0,3010049	0,0584246	0,2277272							

δ	AN HEIGHT disc convexity				O3-4				MEAN HEIGHT disc convexity				ΔΙΑΦΟΡΑ				% απόκλιση				O4-5				AN HEIGHT disc convexity			
	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ
3,796	0,967	1,177	1,328	0,998	0,574	3,758	0,967	1,049	-0,13	0,077	0,054	0,038	0,0003447	1,443	1,012	0,686	3,661	1,047	0,951	1,437								
3,8	1,087	1,047	1,25	1,143	0,67	3,89	1,021	1,191	0,13	-0,02	0,09	-0,09	0,06	1,22	1,02	0,71	3,74	0,983	1,057	1,187								
3,55	0,723	1,313	0,719	0,76	0,476	3,544	0,652	1,272	0,031	0,1	0,084	0,006	0,0990783	0,92	1,03	0,57	3,53	0,840	1,383	1,128								
4,04	0,863	1,159	0,968	1	0,771	4,068	0,913	1,150	-0,028	-0,05	-0,071	-0,028	-0,057529	1,23	1,12	0,87	4,21	1,073	1,067	1,128								
3,57	0,847	1,155	0,867	0,926	0,731	3,622	0,841	1,159	0,013	0,004	-0,001	-0,052	0,0062992	1,08	0,94	0,63	3,44	0,883	1,099	1,265								
3,29	1,003	1,185	1,140	1,08	0,789	3,22	1,003	1,120	-0,03	0,04	-0,009	0,07	0,0003322	0,95	1,07	0,8	3,14	0,940	1,223	1,045								
3,53	1,060	1,149	1,207	1,176	0,771	3,69	1,051	1,189	0,073	-0,016	-0,031	-0,16	0,0081761	1,43	1,27	0,58	3,45	1,093	1,264	1,44								
2,96	0,883	1,118	0,921	0,902	0,578	2,97	0,800	1,203	0,049	0,048	0,152	-0,01	0,0939623	1,01	1,02	0,72	2,91	0,917	1,179	1,148								
3,85	0,943	1,430	0,846	1,112	0,697	3,904	0,885	1,441	0,114	0,068	-0,007	-0,054	0,0618375	0,99	1,11	0,66	3,76	0,920	1,345	0,938								
3,78	0,947	1,264	0,924	1,02	0,731	3,526	0,892	1,233	0,056	0,08	0,029	0,254	0,0580986	1,22	1,06	0,86	3,66	1,047	1,019	1,158								
3,6166	0,9323667	1,1996977	1,017	1,0117	0,6788	3,6192	0,9025	1,2007325	0,0278	0,0328	0,029	-0,0026	0,0331029	1,1493	1,0652	0,7086	3,5501	0,9743667	1,1586723	1,1874								
0,2963377	0,1024053	0,1035944	0,1905387	0,119199	0,0986284	0,3123001	0,1131556	0,0989933	0,0726275	0,0483731	0,0630397	0,1053719	0,0468559	0,1798455	0,0841627	0,1011219	0,3377012	0,082667	0,1362335	0,1496932								

O4-5				MEAN HEIGHT disc convexity				ΔΙΑΦΟΡΑ				% απόκλιση				O5-11				AN HEIGHT disc convexity				O5-11				MEAN HEIGHT disc convexity			
β	γ	δ		α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ
0,99	0,584	3,81		1,004	0,980	0,006		0,022	0,102	-0,149	0,0413881	1,229	0,843	0,403	3,467	0,825	1,033	1,419	0,821	0,354	3,555	0,865									
0,937	0,461	4,061		0,862	1,137	0,03		0,08	0,25	-0,32	0,12	1,414	0,775	0,435	3,529	0,875	0,838	1,376	0,756	0,29	3,451	0,807									
0,9	0,541	3,529		0,856	1,078	-0,208		0,13	0,029	0,001	-0,019444	0,978	0,951	0,486	3,41	0,805	1,299	1,109	0,965	0,367	3,411	0,814									
0,922	0,739	4,15		0,930	0,988	0,102		0,198	0,131	0,06	0,1338509	1,052	0,843	0,47	4,129	0,788	1,108	1,04	0,791	0,4	4,113	0,744									
0,939	0,925	3,519		1,043	0,858	-0,185		0,001	-0,295	-0,079	-0,180755	1,189	0,749	0,656	3,754	0,865	0,812	1,207	0,694	0,579	3,984	0,827									
1,035	0,736	3,172		0,939	1,162	-0,095		0,035	0,064	-0,032	0,0014184	0,95	0,845	0,583	3,176	0,793	1,102	1,143	0,872	0,553	3,191	0,856									
1,208	0,746	3,51		1,131	1,105	-0,01		0,062	-0,166	-0,06	-0,034756	0,83	0,744	0,455	3,228	0,676	1,158	0,852	0,742	0,497	3,317	0,697									
0,993	0,665	3,078		0,935	1,095	-0,138		0,027	0,055	-0,168	-0,020364	0,973	0,743	0,535	2,595	0,750	0,985	0,997	0,669	0,485	2,831	0,717									
1,094	0,727	3,722		0,900	1,242	0,052		0,076	-0,067	0,038	0,0221014	0,945	0,947	0,54	3,503	0,811	1,275	1,013	0,848	0,543	3,481	0,801									
1,102	0,725	3,757		0,995	1,170	0,062		-0,042	0,135	-0,097	0,0493631	0,831	0,832	0,475	3,448	0,713	1,274	0,930	0,778	0,476	3,237	0,728									
1,006	0,6849	3,6308		0,9594333	1,0815974	-0,0381		0,0592	0,0237	-0,0807	0,0116532	1,091	0,8272	0,5038	3,4239	0,7900333	1,0885578	1,1086	0,7936	0,4544	3,4571	0,7855333									
0,0892256	0,1231726	0,3262725		0,0808781	0,1064881	0,1045078		0,0646294	0,1513955	0,1066115	0,0843683	0,1764009	0,0730545	0,071614	0,3758953	0,0592491	0,1649145	0,1739995	0,0830701	0,0916626	0,3536989	0,0565984									

disc convexity	ΔΙΑΦΟΡΑ				% απόκλιση				ΔΙΑΦΟΡΑ οκτα				ΑΘΡΟΙΣΜΑ α+β+γ				ΔΙΑΦΟΡΑ ΑΠΟ Α7-Θ1				ΑΘΡΟΙΣΜΑ α+β+γ				ΔΙΑΦΟΡΑ από Θ1 έως Θ11-12					
disc convexity α	β	γ	δ		α	β	γ	δ		α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	
0,926	-0,19	0,022	0,049	-0,088	-0,048081	-0,823	0,546	-0,086	-1,946					-0,363	-0,885	0,873	0,149	-1,663					0,137	-0,484	0,518	0,019				
0,908	0,04	0,02	0,15	0,08	0,08	0,8859	0,7395	0,4705	1,055					2,096	0,72	0,6315	0,309	1,47					1,662	0,383	0,4905	-0,25				
1,308	-0,131	-0,014	0,119	-0,001	-0,010766	-0,103	0,463	0,548	-1,274					0,908	-0,217	0,499	0,466	-1,091					0,748	-0,038	0,16	0,138				
1,099	0,012	0,052	0,07	0,016	0,0566596	0,14	0,585	0,753	-2,125					1,478	0,27	0,476	0,514	-1,713					1,260	-0,041	0,11	0,313				
0,777	-0,018	0,055	0,077	-0,23	0,0439476	-0,143	0,832	0,141	-0,644					0,830	-0,138	0,851	0,299	-0,267					1,012	0,239	0,652	0,424				
1,028	-0,193	-0,027	0,03	-0,015	-0,079899	-0,4151	1,035	0,606	-1,472					1,226	-0,4361	0,825	0,452	-1,191					0,841	-0,0591	0,593	0,485				
1,100	-0,022	0,002	-0,042	-0,089	-0,030557	-0,531	-0,204	-0,427	-0,679					-1,162	-0,515	-0,106	-0,384	-0,751					-1,005	-0,411	-0,192	-0,215				
0,903	-0,024	0,074	0,05	-0,236	0,0444247	-0,465	0,1475	0,624	-1,781					0,307	-0,256	0,088	0,611	-1,637					0,443	-0,135	0,032	0,233				
1,090	-0,068	0,099	-0,003	0,022	0,0115132	0,401	1,186	0,961	-0,341					2,548	0,519	1,092	0,763	-0,012					2,374	0,312	0,507	0,764				
1,107	-0,099	0,054	-0,001	0,211	-0,021515	0,5055	0,528	0,361	-2,06					1,395	0,3815	0,406	0,228	-1,663					1,016	0,0865	0,24	0,073				
1,0244902	-0,0695	0,0336	0,0494	-0,0332	0,0042708									0,926	-0,056	0,56355	0,3407	-0,8518					0,849	-0,01476	0,31105	0,1984				
0,1420333	0,077204	0,0379558	0,0540244	0,1283782	0,0481661									1,050	0,4844664	0,3523802	0,2978094	0,9640923					0,856	0,2710125	0,2661547	0,2984608				

δ	MEAN DIFF				ΔΙΑΦΟΡΑ από Θ12-01 έως OSI-1				MEAN DIFF			
	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ
-1,248	0,053				-0,369	0,322	0,178	-0,193	0,131			
2,087	0,624				0,319	0,193	0,538	-0,493	1,05			
-0,796	0,260				-0,184	0,386	0,402	-0,236	0,604			
-1,596	0,382				0,301	0,334	0,123	-0,089	0,758			
0,202	1,315				-0,223	0,125	-0,199	-0,505	-0,297			
-1,06	1,019				-0,34	0,246	0,004	-0,144	-0,09			
-0,473	-0,818				-0,057	0,107	-0,178	-0,234	-0,128			
-0,986	0,130				-0,059	0,075	0,343	-0,556	0,359			
-0,229	1,583				0,207	0,574	-0,047	0,192	0,734			
-1,256	0,400				0,278	0,129	0,136	-0,249	0,543			
-0,5355	0,495				-0,0127	0,2491	0,13	-0,2507	0,366			
1,0107724	0,654				0,2555304	0,1484281	0,2320595	0,2130559	0,423			

1. Αυχενική μοίρα

Η ανατομία του μεσοσπονδύλιου διαστήματος στην αυχενική μοίρα διαταράσσεται κατά την πορεία της εκφυλιστικής διαδικασίας και συντελεί στην εμφάνιση πόνου, λόγω της πίεσης των φυσιολογικών νευρικών δομών και της νεοαγγείωσης του εκφυλισμένου δίσκου. Η εκφύλιση της αυχενικής μοίρας έχει μεγάλη επικράτηση στο γενικό πληθυσμό, είναι αναπόφευκτη με την πάροδο της ηλικίας και η αντιμετώπιση του πόνου που επιφέρει προβληματίζει τον θεράποντα ιατρό. Όταν η συντηρητική θεραπεία αδυνατεί να ελέγξει τα συμπτώματα και οι ενδείξεις είναι παρούσες, η συχνότερη επέμβαση είναι η πρόσθια δισκεκτομή και σπονδυλοδεσία ενός ή περισσότερων επιπέδων (ACDF). Κατά την επέμβαση αυτή, ο χειρουργός αφαιρεί το δίσκο του μεσοσπονδύλιου διαστήματος που πάσχει και διατείνει το διάστημα, ώστε να αποσυμπιεστούν οι νευρικές ρίζες στα εγκάρσια τρήματα, να αποκτήσουν τα συνδεσμικά στοιχεία κατά το δυνατό τη φυσιολογική τους τάση και σταθεροποιεί το τμήμα με σπονδυλοδεσία. Ωστόσο, ο βαθμός διάτασης του διαστήματος έγκειται στην εμπειρία του χειρουργού και στην τάση που μπορούν να ασκήσουν τα διατακτικά εργαλεία διεγχειρητικά και όχι στην επίτευξη ενός επιθυμητού ύψους όμοιου με το ύψος του διαστήματος πριν την επίδραση της εκφύλισης. Μετρήσαμε το πρόσθιο, μεσαίο, οπίσθιο και μέσο ύψος του μεσοσπονδύλιου δίσκου σε υγιείς μάρτυρες με σκοπό τη δημιουργία βάσης δεδομένων αφενός και αφετέρου για να εκφράσουμε το ύψος κάθε διαστήματος ως συνάρτηση του γειτονικού του. Απώτερος σκοπός της μελέτης είναι να βοηθήσει στον υπολογισμό του ακριβούς βαθμού διάτασης διεγχειρητικά για την αποφυγή των ανεπιθύμητων επιπλοκών της υπερ- ή υποδιόρθωσης του μεσοσπονδύλιου διαστήματος.

Από τα αποτελέσματα γίνεται φανερό η τάση για αύξηση του πρόσθιου και μεσαίου ύψους του δίσκου από το A3-4 διάστημα μέχρι και το A6-7. Λίγο διαφορετική είναι η πορεία για το οπίσθιο ύψος, το οποίο αυξάνεται ήπια από το A3-4 ως το A5-6, στη συνέχεια όμως οι τιμές του μειώνονται. Το μεσαίο ύψος είναι το μεγαλύτερο ύψος του δίσκου στην αυχενική μοίρα σε όλα τα διαστήματα σε σχέση με το πρόσθιο και το οπίσθιο, ακολουθούμενο από το πρόσθιο ύψος. Αυτό αντικατοπτρίζεται και στο δείκτη κυρτότητας που μειώνεται αρχικά ακολουθώντας την αύξηση του πρόσθιου και οπίσθιου ύψους σε σχέση με το σχετικά σταθερό μεσαίο ύψος στα πρώτα δύο διαστήματα, ενώ στη συνέχεια ο δίσκος καθίσταται ξανά πιο κυρτός στα A6-7 και A7-Θ1 λόγω της μεγάλης αύξησης του μεσαίου ύψους, και της υποχώρησης των τιμών του οπισθίου ύψους. Την τάση αυτή ακολουθεί και ο δείκτης DHI, του οποίου η μεγάλη μείωση στο διάστημα A7-Θ1 οφείλεται στην ταυτόχρονη μείωση του πρόσθιου, μεσαίου και οπισθίου ύψους του δίσκου και την αντίστοιχη αύξηση των τιμών των υψών των σπονδυλικών σωμάτων A7 και Θ1. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα μας, οι γυναίκες φαίνεται να έχουν μικρότερους δίσκους στα

διαστήματα μετά το A4-5. Ωστόσο ο δείκτης DHI δε διαφέρει, πράγμα που δείχνει ότι ο λόγος του δίσκου προς το σπονδυλικό σώμα διατηρείται σταθερός, παρά τις διαφορές στο ύψος του δίσκου και του σπονδυλικού σώματος ανάμεσα στα δύο φύλα. Τέλος το ύψος, το BMI και η ηλικία του ατόμου δεν φαίνεται να επιδρά στην πρόβλεψη της διακύμανσης του μέσου ύψους του δίσκου, αν και η ηλικία δεν είχε μεγάλο εύρος στα δείγματα που μελετήθηκε (19-28 έτη, 19-42 έτη). Δημιουργήθηκε πίνακας για τη σύγκριση με βιβλιογραφικά δεδομένα, αν και η αξία των δεδομένων είναι τουλάχιστον αμφισβητήσιμη λόγω μη καταγραφής φυλής, ηλικίας και φύλου και συμπεράσματα δεν είναι ασφαλές να εξαχθούν.

Η ηλικιακή εκφύλιση της ΑΜΣΣ είναι παρούσα στην πλειοψηφία των μεσηλικών στο γενικό πληθυσμό και αποτελεί τη συχνότερη αιτία νευρολογικής δυσλειτουργίας [1]. Αν και η πλειοψηφία των περιπτώσεων δεν προκαλεί συμπτώματα, αλλαγές όπως η πρόπτωση δίσκου, ο σχηματισμός οστεοφύτων και η υπερτροφία των σπονδυλικών συνδέσμων μπορούν να προκαλέσουν πίεση επί των νευρικών ριζών με επακόλουθο αυχεναλγία, ριζοπάθεια ή μυελοπάθεια [2]. Τα διαστήματα που πιο συχνά νοσούν είναι τα A5-6, A6-7 και A4-5, με σειρά φθίνουσας συχνότητας [3]. Η θεραπεία πρώτης γραμμής είναι συντηρητική, αλλά όπου δεν υπάρχει ανταπόκριση ενδείκνυται η χειρουργική παρέμβαση, με συχνότερο τύπο επέμβασης την ACDF. Η συγκεκριμένη επέμβαση έχει επιδείξει καλά προς εξαιρετικά αποτελέσματα και μικρό εγχειρητικό κίνδυνο [4]. Η ανακούφιση από τον πόνο επέρχεται από την αποσυμπίεση, τη διάταση και τη δημιουργία ζωτικού χώρου στο μεσοσπονδύλιο τμήμα για τις πιεσμένες νευρικές δομές αλλά και από τη σταθεροποίηση της σπονδυλικής μονάδας.

Η επιλογή του μεγέθους του μεσοσπονδύλιου μοσχεύματος τόσο στην ACDF, όσο και στην ολική αντικατάσταση δίσκου (TDR), διαδραματίζει σημαντικό ρόλο για την επιτυχή έκβαση της επέμβασης, δεν ορίζεται όμως με σαφήνεια βιβλιογραφικά [5]. Τα προβλήματα που προκύπτουν από την υπερδιάταση του μεσοσπονδύλιου διαστήματος διεγχειρητικά για την τοποθέτηση ενός υπερμεγέθους μοσχεύματος που θα διατηρήσει την υπερδιάταση, σχετίζονται πρώτιστα με την ανισοκατανομή των αξονικών φορτίων στην πρόσθια κολώνα της σπονδυλικής στήλης. Οι συμπιεστικές δυνάμεις αυξάνονται πάνω στο μόσχευμα με αποτέλεσμα, όταν ξεπεράσουν έναν συγκεκριμένο ουδό, να εισχωρεί το μόσχευμα στην τελική πλάκα και τη δημιουργία μετεγχειρητικά αλγινών ερεθισμάτων. Ο συσχετισμός των δυνάμεων αλλάζει και στις ζυγοαποφυσιακές αρθρώσεις. Βρέθηκε πρόσφατα ότι η σχέση ανάμεσα στην αύξηση του μεσοσπονδύλιου διαστήματος και την αύξηση της απόστασης ανάμεσα στις ανάντις και κατάντις αρθρικές αποφύσεις είναι στατιστικά σημαντική [6]. Η υπερδιάταση κατά συνέπεια του ρικνωμένου θυλάκου των εκφυλισμένων ζυγοαποφυσιακών αρθρώσεων μπορεί να τραυματίσει και να αποσταθεροποιήσει την σπονδυλική μονάδα. Η διάταση πάνω από 2mm από το αρχικό ύψος του δίσκου φαίνεται ότι αυξάνει τις πιέσεις επί της νευρικής ρίζας στο μεσοσπονδύλιο τμήμα, παρά τη φαινομενική αύξηση του χώρου. Το φαινόμενο αυτό πιθανώς οφείλεται στη σύνδεση των θυλακικών συνδέσμων με τη νευρική ρίζα, που προκαλούν πίεση επί

της ρίζας στο εγκάρσιο επίπεδο, παρά τη φαινομενική αύξηση του ύψους στο οβελιαίο επίπεδο [7]. Από την άλλη μεριά, η τοποθέτηση ενός μικρού μοσχεύματος και η υποδιόρθωση του μεσοσπονδύλιου ύψους μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα την αποτυχία ανακούφισης από τον πόνο και την αποσταθεροποίηση λόγω αποτυχίας ενσωμάτωσης του μοσχεύματος.

Η κατανόηση της φυσιολογικής και παθολογικής ανατομίας του μεσοσπονδύλιου διαστήματος στην ΑΜΣΣ βοηθάει στη λήψη σωστών αποφάσεων κατά τον προεγχειρητικό σχεδιασμό. Σημαντικές μετρήσεις στο σχεδιασμό της ACDF ή της TDR είναι το ύψος και η προσθιοπίσθια διάμετρος του μεσοσπονδύλιου διαστήματος. Η δική μας μελέτη επιβεβαιώνει προηγούμενες μετρήσεις, με το πλεονέκτημα ότι έγιναν σε υγιή πληθυσμό και άρα μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν μετρήσεις αναφοράς αλλά και σε δείγμα μεγαλύτερο και με πιο σύγχρονη απεικόνιση από άλλες μελέτες. Σε άλλες μελέτες, βρέθηκε επίσης ότι το ύψος του δίσκου από το A3-4 ως το A6-7 φαίνεται να αυξάνεται, με στατιστικά σημαντικά μεγαλύτερο να είναι το A6-7 διάστημα, και αντιστοιχεί περίπου στο 1/3 του σπονδυλικού σώματος στο φυσιολογικό ενήλικα [8,9]. Ομοίως αυξάνεται και προσθιοπίσθια διάμετρος του δίσκου. Επίσης, το πρόσθιο ύψος του δίσκου είναι ελαφρώς μεγαλύτερο από το οπίσθιο ύψος, ενώ το μεγαλύτερο ύψος παρατηρείται στη μεσότητα του δίσκου, όπως επιβεβαιώνουν και οι δικές μας μετρήσεις [10]. Ο προσανατολισμός του δίσκου στο οβελιαίο επίπεδο είναι περίπου 5⁰ κεφαλικά, γεγονός που έχει σημασία κατά τη δισκεκτομή για την εύκολη πρόσβαση στο οπίσθιο τμήμα του δίσκου [11]. Όλες οι ανωτέρω ανατομικές λεπτομέρειες συνεισφέρουν στη δημιουργία της φυσιολογικής αυχενικής λόρδωσης.

Τα φυσιολογικά αξονικά φορτία στην ΑΜΣΣ έχει βρεθεί ότι φέρονται με τη μορφή τρίποδα, κατά 36% διά της πρόσθιας κολώνας και κατά 32% εκατέρωθεν δια των ζυγοαποφυσιακών αρθρώσεων οπισθίως [12]. Η υπερδιάταση φαίνεται ότι μειώνει τα φορτία της οπίσθιας κολώνας και αυξάνει τα φορτία στην πρόσθια κολώνα, ιδιαίτερα κατά τις κινήσεις κάμψης της ΑΜΣΣ. Όσο αυξάνονται δηλαδή τα διατακτικά φορτία για την είσοδο ενός υπερμεγέθους μοσχεύματος τόσο πιθανότερο είναι να αυξηθούν και τα επακόλουθα συμπιεστικά φορτία που αυξάνουν τον κίνδυνο εμβύθυνσης του μοσχεύματος στο σπονδυλικό σώμα. Υπάρχει λοιπόν ένα κρίσιμο όριο πέρα από το οποίο η διάταση του μεσοσπονδύλιου διαστήματος δεν είναι ωφέλιμη. Σε μία πτωματική μελέτη, βρέθηκε ότι η διάταση πέραν των 3mm του προεγχειρητικού ύψους προκαλούσε σημαντική μείωση στον λόγο κατανομής ανάμεσα στα φορτία των οπίσθιων στοιχείων και στα φορτία του μοσχεύματος, και διατάρασσε την φυσιολογική λόρδωση [13]. Σε μια πιο πρόσφατη μελέτη, υπολογίστηκε ότι διάταση μέχρι το 120% του αρχικού ύψους είχε ελάχιστη επίδραση στο εύρος της κίνησης σε ένα αρθροδεμένο διάστημα A5-6. Σε διάταση πέραν του ποσοστού αυτού, το εύρος της κίνησης σταδιακά μειωνόταν, με μεγαλύτερη μείωση στο 160% του ύψους, στις κινήσεις πλάγιας κάμψης, με αύξηση του κινδύνου εμφάνισης της νόσου παρακείμενου διαστήματος [14].

Εφόσον θεωρούμε τις μετρήσεις μας σαν μια βάση δεδομένων από έναν τυχαίο υγιή πληθυσμό με κανονική ηλικιακή κατανομή για μελλοντική χρήση, φιλοδοξούμε ότι οι εξισώσεις πρόβλεψης θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν σαν μέσο υπολογισμού ενός πιο ακριβούς βαθμού διάτασης του μεσοσπονδύλιου διαστήματος διεγχειρητικά αλλά κυρίως κατά την προεγχειρητική επιλογή εμφυτεύματος. Το σκεπτικό πίσω από τη χρήση των φυσιολογικών τιμών του ύψους του διαστήματος στο γενικό πληθυσμό για την ανακατασκευή του εκφυλισμένου διαστήματος φαίνεται να υποστηρίζεται από την ανωτέρω βιβλιογραφία.

2. Θωρακική μοίρα

Οι ανατομικές μελέτες στη θωρακική μοίρα σπανίζουν, ενώ σπάνια είναι και η πιθανότητα χειρουργικής παρέμβασης λόγω εκφυλιστικών διεργασιών. Στην παρούσα μελέτη, παρατηρείται μια τάση μείωσης του ύψους του μεσοσπονδυλίου δίσκου από το Θ1-2 διάστημα ως το Θ4-5, εύρημα που επιβεβαιώνεται από αντίστοιχη παρατήρηση σε προηγούμενες μελέτες [15-18]. Στη συνέχεια, μετά το διάστημα Θ5-6 σημειώνεται αυξητική πορεία του ύψους των δίσκων. Ο δείκτης DHI δεν ακολουθεί ακριβώς αυτό το μοτίβο, που δείχνει ότι το ύψος των σπονδυλικών σωμάτων ακολουθεί διαφορετική πορεία και αυξάνεται σταδιακά κατά μήκος όλης της ΘΜΣΣ. Η διαφορά στις αυξομειώσεις των τιμών του πρόσθιου και μεσαίου ύψους σε σχέση με το οπίσθιο ύψος αντανακλώνεται στις τιμές του δείκτη κυρτότητας, ο οποίος ακολουθεί αυξητική πορεία μέχρι το Θ5-6 διάστημα, ενώ στη συνέχεια καταγράφει πτωτική πορεία με μικρές αυξομειώσεις από διάστημα σε διάστημα, μέχρι να πάρει τη μικρότερη τιμή του στο διάστημα Θ11-12.

Η ΘΜΣΣ έχει ξεχωριστές εμβιομηχανικές ιδιομορφίες λόγω των πλευρικών αρθρώσεων της με το θωρακικό κλωβό και της φυσιολογικής της κύφωσης. Οι εμβιομηχανικές της ιδιότητες διαφέρουν από τις υπόλοιπες μοίρες της σπονδυλικής στήλης, καθώς είναι η λιγότερο κινητή μοίρα της και έχει ιδιαίτερα αυξημένα συμπιεστικά φορτία [19-21]. Το εύρημα ότι η προσθιοπίσθια διάμετρος του δίσκου αυξάνεται συνεχώς ουραία δεν αποτελεί έκπληξη, καθώς τα αξονικά φορτία επί των δίσκων αυξάνονται ουραία, και η μεγαλύτερη επιφάνεια μειώνει τις ασκούμενες συμπιεστικές δυνάμεις. Επίσης οι μεγάλες τιμές του δείκτη DHI στα άκρα της ΘΜΣΣ (Θ1-2 και Θ11-12) πιθανώς αντικατοπτρίζουν τις σχέσεις του μεσοσπονδυλίου διαστήματος με τα υπόλοιπα ανατομικά στοιχεία στις πιο κινητές μοίρες της ΘΜΣΣ, που δεν εμποδίζονται από το θωρακικό κλωβό [18].

Στη δική μας μελέτη, στο μοντέλο πολλαπλής παλινδρόμησης μεταξύ μέσου ύψους ανά επίπεδο και ηλικίας και φύλου, η ηλικία και το φύλο δε φαίνεται να επηρεάζουν με στατιστικά σημαντικό τρόπο το ύψος του δίσκου. Αυτό ίσως να οφείλεται στο μικρό δείγμα και στη μη αντιστοίχιση αριθμητικά του φύλου των μαρτύρων, όπως και στο στενό ηλικιακό εύρος. Οι διαφορές στις τιμές με άλλες μελέτες πιθανώς οφείλεται στο διαφορετικό μέγεθος του δείγματος, στη διαφορετική μεθοδολογία και στην ώρα καταμέτρησης του ύψους. Σε άλλες μελέτες, έχει παρατηρηθεί διαφορά στο ύψος του δίσκου λόγω της επίδρασης του φύλου και της ηλικίας. Οι παρατηρούμενες διαφορές στο ύψος των δίσκων μεταξύ ανδρών και γυναικών σε όλα τα επίπεδα, πιθανώς αντανακλά διαφορές στο ανάστημα των μαρτύρων (πίνακας 11). Έχει προηγουμένως παρατηρηθεί, σε ότι αφορά τη ΘΜΣΣ, ότι η μέση διαφορά στο ύψος των μεσοσπονδυλίων δίσκων και των σπονδυλικών σωμάτων είναι ανάλογη με τη διαφορά μεταξύ των αναστημάτων των μαρτύρων [22]. Η καταγραφή μεγαλύτερου ύψους του δίσκου στην κατώτερη θωρακική μοίρα είναι αναμενόμενη, καθώς η κατώτερη θωρακική μοίρα είναι πιο κινητή και έχει μεγαλύτερο εύρος κάμψης και έκτασης σε σχέση με την ανώτερη ΘΜΣΣ [19]. Πιθανώς ίδια είναι η ερμηνεία πίσω

από το μεγάλο ύψος του δίσκου στο Θ1-2 και Θ2-3 διάστημα. Τέλος, ο Hurxthal και συνεργάτες παρατήρησαν πως το συνολικό ύψος του δίσκου στην κατώτερη θωρακική και ανώτερη οσφυϊκή (Θ5 έως Ο4) ήταν μεγαλύτερο στο ηλικιακό γκρουπ άνω των 47 ετών, σε σχέση με το ηλικιακό γκρουπ κάτω των 30 ετών [15]. Σε άλλη μελέτη βέβαια βρέθηκε ότι το πρόσθιο ύψος του δίσκου μειώνεται σημαντικά ανά δεκαετία ζωής [22].

Στη ΘΜΣΣ, ζωτικής σημασίας είναι η αποσυμπίεση του πάσχοντος μεσοσπονδυλίου διαστήματος με προσοχή, διότι κάθε χειρισμός μπορεί να πιέσει το νωτιαίο μυελό με καταστροφικές συνέπειες. Η σπονδυλοδεσία ενδείκνυται όταν η σταθερότητα θυσιάζεται για την αποσυμπίεση. Σε πλήρη δισκεκτομή, η σπονδυλοδεσία έχει απόλυτη ένδειξη, προσφέρει σταθερότητα και περιορίζει τον δευτερογενή λόγω μικροκίνησης πόνο. Παρά τη σπανιότητα των επεμβάσεων στη ΘΜΣΣ, με την καταγραφή των εξισώσεων για την πρόβλεψη του ύψους του διαστήματος βάσει υγιούς γειτονικού διαστήματος, μπορεί να αποφευχθούν αχρείαστοι διεγχειρητικοί χειρισμοί και να αυξηθούν οι πιθανότητες επιτυχούς μετεγχειρητικού αποτελέσματος.

3. Οσφυϊκή μοίρα

Οι εκφυλιστικές αλλοιώσεις της φυσιολογικής σπονδυλικής ανατομίας συσχετίζονται με την εμφάνιση συμπτωματολογίας, η ένταση της οποίας κυμαίνεται από το παροδικό ήπιο ενόχλημα έως τη μόνιμη αναπηρία. Στις περιπτώσεις όπου η συντηρητική θεραπεία αποτυγχάνει να ανακουφίσει τον πόνο, έχουν αναπτυχθεί χειρουργικές παρεμβάσεις οι οποίες στοχεύουν στην ανασύσταση των διαταραγμένων ανατομικών σχέσεων με σπονδυλοδεσία ή ολική αντικατάσταση δίσκου. Η σπονδυλοδεσία πραγματοποιείται με διασωματικούς κλωβούς, δηλαδή υλικές κατασκευές που γεφυρώνουν τα μεσοσπονδύλια διαστήματα των οποίων η ανατομία και η λειτουργικότητα έχει διαταραχθεί. Η επιλογή του κατάλληλου μεγέθους διασωματικού κλωβού αποτελεί κλειδί στην τεχνική της διασωματικής σπονδυλοδεσίας στην οσφυϊκή μοίρα και έχει σημαντικό αντίκτυπο στην θεραπευτική αποτελεσματικότητά του. Ένας κλωβός με μεγαλύτερο ύψος από το κατάλληλο οδηγεί στην υπερβολική ιατρογενή διάταση του μεσοσπονδύλιου διαστήματος και παράλληλα εγκυμονεί κίνδυνο πρόκλησης κάκωσης στις νευρικές ρίζες. Αντιθέτως, η χρήση ενός κλωβού με μικρότερο ύψος από το κατάλληλο, αδυνατεί να αναστηλώσει το ύψος του μεσοσπονδύλιου διαστήματος και να ανασυστήσει την οσφυϊκή λόρδωση, κατάσταση που ίσως οδηγήσει σε συνδεσμικά ασταθή κατασκευή με σοβαρές επιπλοκές όπως η αστοχία/θραύση των υλικών. Ο καθορισμός του ύψους του διασωματικού κλωβού και η διεγχειρητική διάταση από τον χειρουργό σπονδυλικής στήλης φαίνεται ότι δεν βασίζεται σε ανατομικά δεδομένα, αλλά στην χειρουργική εμπειρία [23]. Ένας διαφορετικός τύπος χειρουργικής παρέμβασης είναι η ολική αντικατάσταση μεσοσπονδύλιου δίσκου, όπου και πάλι η διάταση του μεσοσπονδύλιου διαστήματος αποτελεί κομμάτι της διεγχειρητικής τεχνικής. Μετεγχειρητικές επιπλοκές λόγω ανεπαρκούς μη ανατομικής επεμβατικής διόρθωσης όπως η νόσος παρακείμενου διαστήματος (ΝΠΔ) και το σύνδρομο επιπέδωσης της ΟΜΣΣ (flatback), επιμηκύνουν την ταλαιπωρία του ασθενούς και προβληματίζουν το θεράποντα χειρουργό. Η περιεγχειρητική υπερ- ή υπο-διόρθωση ενός ή περισσότερων εκφυλισμένων μεσοσπονδυλίων διαστημάτων είναι ένα παράδειγμα ιατρογενούς παρέμβασης που συνεισφέρει στην εμφάνιση των ανωτέρω επιπλοκών [24].

Ο σκοπός αυτής της μελέτης είναι η ποσοτικοποίηση των φυσιολογικών ανατομικών σχέσεων των δομών του μεσοσπονδύλιου διαστήματος σε υγιείς μάρτυρες και να δημιουργηθεί μια βάση δεδομένων των απεικονιστικών δεικτών της φυσιολογικής σπονδυλικής μονάδας στην οσφυϊκή μοίρα της σπονδυλικής στήλης με τη χρήση μαγνητικής τομογραφίας. Επιπρόσθετα, προτείνεται η χρήση των αποτελεσμάτων της μελέτης στον προεγχειρητικό σχεδιασμό για την εξατομίκευση και ακριβή υπολογισμό του κατάλληλου βαθμού διάτασης του μεσοσπονδύλιου διαστήματος με την κατάλληλη επιλογή μεσοσπονδύλιου εμφυτεύματος για κάθε ασθενή (κλωβού ή τεχνητού δίσκου).

Σε αυτή τη μελέτη, μετρήθηκε και εκφράστηκε το ύψος του μεσοσπονδύλιου διαστήματος με τη χρήση διάφορων δεικτών. Ο δείκτης DHI ενσωματώθηκε στους

υπολογισμούς μας ως ένας νέος σύγχρονος τρόπος έκφρασης του ύψους του δίσκου με τη συμμετοχή του ύψους του σπονδυλικού σώματος, με τρόπο που εύκολα αναπαράγεται και με δημοσιευμένες προηγούμενες μετρήσεις για σύγκριση [25]. Οι δικές μας μετρήσεις του DHI σε σύγκριση με την προηγούμενη βιβλιογραφία εμφανίζονται ήπια μεγαλύτερες, πιθανότατα λόγω ετερογενούς πληθυσμιακού δείγματος και διαφορετικής μεθοδολογίας (στην άλλη μελέτη το στάδιο εκφύλισης δεν αποτέλεσε κριτήριο αποκλεισμού) (πίνακας 14). Με τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν, έχει δημιουργηθεί μια βάση δεδομένων για μια ποικιλία απεικονιστικών δεικτών που εκφράζουν τα μεσοσπονδύλια διαστήματα της οσφυϊκής μοίρας. Στις μετρήσεις αυτές δεν συμπεριλήφθηκε το O5-I1 λόγω ιδιαίτερου σχήματος και θέσης. Καθώς επίσης διότι στο συγκεκριμένο διάστημα οι τεχνικές τοποθέτησης εμφυτεύματος είναι ιδιαίτερα απαιτητικές, με σπάνιες ενδείξεις. Τέλος το εύρημα ότι η προσθιοπίσθια διάμετρος αυξάνεται ουραία δεν αποτελεί έκπληξη, καθώς, όπως έχει μελετηθεί και προηγουμένως, οι δίσκοι καλούνται να απορροφήσουν μεγαλύτερα φορτία και η μεγαλύτερη επιφάνεια μειώνει τις ασκούμενες συμπιεστικές δυνάμεις [26].

Όπως προαναφέρθηκε, αποφασίστηκε επίσης η έκφραση κάθε μεσοσπονδύλιου ύψους με τη μορφή πρωτοβάθμιας εξίσωσης του γειτονικού διαστήματος, με τη χρήση του μέσου, πρόσθιου ή του οπισθίου ύψους του δίσκου. Εφόσον θεωρούμε τις μετρήσεις μας σαν μια βάση δεδομένων από έναν τυχαίο πληθυσμό με κανονική ηλικιακή κατανομή για μελλοντική χρήση, φιλοδοξούμε ότι οι εξισώσεις αυτές θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν στον υπολογισμό του ακριβούς βαθμού διάτασης του μεσοσπονδύλιου διαστήματος προεγχειρητικά και διεγχειρητικά. Για παράδειγμα, κατά την επέμβαση σε ένα εκφυλισμένο διάστημα O4-5 μετρώντας το μέσο ή οπίσθιο ύψος του γειτονικού υγιούς O3-4 και με την ύπαρξη της βάσης δεδομένων που παρατίθεται στην παρούσα μελέτη (πίνακας 17), το επιθυμητό O4-5 ύψος μπορεί να υπολογιστεί με την εξίσωση $O4-5 = 0.344 + 0.594 * O3-4$. Παρόμοια με τη δική μας προσέγγιση, οι Wang και συνεργάτες δημιούργησαν μια βηματική παλινδρομική εξίσωση για κάθε μεσοσπονδύλιο διάστημα για την επιλογή του κατάλληλου μεγέθους του διασωματικού κλωβού [23]. Χρησιμοποίησαν το ύψος του κλωβού σαν εξαρτημένη μεταβλητή και δυο ανεξάρτητες μεταβλητές, το φύλο του ασθενούς και το ύψος δίσκου του παθολογικού διαστήματος στη μεσότητα αυτού.

Ένας άλλος τρόπος ερμηνείας των αποτελεσμάτων μας είναι η θεώρηση του O4-5 διαστήματος ως το μεγαλύτερο οσφυϊκό μεσοσπονδύλιο διάστημα. Εκφυλιστικές διεργασίες επισυμβαίνουν σε κάθε σπονδυλικό τμήμα από νωρίς στην ενήλικη ζωή, με την οσφυϊκή μοίρα να αποτελεί την πιο συχνή θέση. Οι εκφυλιστικές διαδικασίες ξεκινούν από τη δεύτερη δεκαετία της ζωής, ακολουθεί μία περίοδος σταθερότητας μέχρι ένα δεύτερο κύκλο επιδείνωσης μετά την τέταρτη δεκαετία [27]. Ένας εκφυλισμένος δίσκος χάνει ύψος με ετήσιο ρυθμό της τάξης του 3%, ενώ ένας υγιής δίσκος έχει ένα πολύ χαμηλότερο ρυθμό απώλειας ύψους, της τάξης του 0.6%, ενώ ο αντίστοιχος ετήσιος ρυθμός κυκλοτερούς προβολής είναι στο 1.7% [28,29]. Η εκφύλιση του δίσκου καθίσταται φανερή σε MRI περίπου 4 χρόνια μετά από έναν

αρχικό τραυματισμό [30]. Ο προαναφερθείς 3% ετήσιος ρυθμός απώλειας ύψους του δίσκου υποδηλώνει ότι η εκφυλιστική διαδικασία ίσως χρειάζεται 1-3 δεκαετίες για να εκπληρώσει την πλήρη πορεία της, που ταιριάζει με το χρόνο που χρειάζεται επίσης για την εμφάνιση της η ΝΠΔ. Το ύψος του δίσκου στο διάστημα O4-5 έχει βρεθεί ότι επηρεάζεται περισσότερο ύστερα από παρατεταμένη καθιστή θέση [31]. Η ηλικία και οι ώρες καθιστής θέσης αποτελούν σημαντικούς παράγοντες κινδύνου για την ανάπτυξη δισκοκήλης στο O4-5 επίπεδο [32]. Η οσφυϊκή σπονδυλική μονάδα που χειρουργείται συχνότερα είναι στο επίπεδο O4-5 με συχνότητα 69.1% στους άνδρες και 75.8% στις γυναίκες [33]. Σε συμφωνία με τα ανωτέρω προστίθεται και η καταγεγραμμένη συχνότητα ΝΠΔ στα διάφορα οσφυϊκά τμήματα, με συχνότερη εντόπιση το O3-4 (56%), ακολουθούμενο από το O4-5 (37%), το O2-3 (6%) και το Θ12-O1 και O1-2 (1%) [34]. Ο κίνδυνος τραυματικής πρόπτωσης του δίσκου αυξάνεται σε μη εκφυλισμένο δίσκο, λόγω της έμφυτα αυξημένης υδροστατικής πίεσης. Η πιο επίβουλη ώρα για να συμβεί τραυματική πρόπτωση είναι τις πρωινές ώρες μετά την κατάκλιση και την αφύπνιση, όταν η ενυδάτωση του πηκτοειδή πυρήνα είναι στο μέγιστο. Το πιθανότερο σπονδυλικό επίπεδο για να συμβεί η βλάβη είναι το O4-5 [35,36].

Η μεταβολή του μεσοσπονδύλιου ύψους σε σχέση με το σπονδυλικό επίπεδο έχει μελετηθεί στο παρελθόν. Ο Pfirrmann και συνεργάτες έχουν δείξει ότι το ύψος του δίσκου έχει θετική συσχέτιση με το σπονδυλικό επίπεδο, σύμφωνα και με τα δικά μας αποτελέσματα [37]. Οι δικές μας μετρήσεις όμως έγιναν σε μεγαλύτερο αριθμητικά και λιγότερο γερασμένο πληθυσμό, χωρίς ακτινολογικά ευρήματα εκφύλισης. Τα δικά τους συμπεράσματα ήταν ότι όταν συναντάται εκφύλιση, θα πρέπει να αναμένεται μείωση του ύψους και του όγκου του μεσοσπονδύλιου δίσκου, όπως και ένα λιγότερο κυρτό σχήμα του. Παρατήρησαν επίσης σε απουσία εκφύλισης, η ηλικία έχει ανάστροφη σχέση με το ύψος, τον όγκο και το σχήμα του δίσκου. Σε άλλη μελέτη, η μείωση του ύψους του δίσκου σαν αποτέλεσμα της γήρανσης φαίνεται να είναι ανεξάρτητη από την ύπαρξη χειρουργικής παρέμβασης στο μεσοσπονδύλιο διάστημα. Πιο αναλυτικά, η μείωση του ύψους σε αρθροδεμένα επίπεδα O4-5 και O5-I1 βρέθηκε ότι δεν είχε διαφορά από την αντίστοιχη μείωση σε γειτονικά μη αρθροδεμένα διαστήματα στον ίδιο ασθενή, αλλά και στα ταυτόσημα διαστήματα σε μη χειρουργημένους ασθενείς, ύστερα από 9 χρόνια παρακολούθησης [38]. Σε ότι αφορά την επίδραση του φύλου στο μεσοσπονδύλιο διάστημα, ο Frobin και οι συνεργάτες του συμπέραναν ότι υπάρχει φυλοσύνδετη εξάρτηση του ύψους του μεσοσπονδύλιου διαστήματος, η οποία όμως οφείλεται σε αλλαγές στο σχήμα των σπονδυλικών σωμάτων και όχι των δίσκων, με την πάροδο της ηλικίας [39].

Σύμφωνα με ένα μοντέλο πεπερασμένων στοιχείων για την εμβιομηχανική μελέτη της O3-4 σπονδυλικής μονάδας, το ύψος του δίσκου διαδραματίζει τον κυρίαρχο ρόλο στην ακαμψία της σπονδυλικής μονάδας σε σύγκριση με όλες τις άλλες γεωμετρικές παραμέτρους της. Με την αύξηση του ύψους του δίσκου φαίνεται να αυξάνεται η αστάθεια, ενώ ακόμα μεγαλύτερη σημασία εξαισιμασμένα για τον κάθε ασθενή έχει η σχέση ύψους δίσκου με το ύψος του σπονδυλικού σώματος, δηλαδή ο δείκτης DHI

στη δική μας μελέτη [40]. Τα ασταθή σπονδυλικά τμήματα (λόγω αυξημένου μεσοσπονδύλιου ύψους) μεταφέρουν υψηλότερα φορτία στην οπίσθια κολώνα, γεγονός που οδηγεί στην άσκηση μεγαλύτερων δυνάμεων τάσης στο θύλακο των αντίστοιχων ζυγοαποφυσιακών αρθρώσεων και των συνδέσμων κατά τις κινήσεις κάμψης [41]. Γίνεται λοιπόν φανερή η σοβαρότητα των επιπτώσεων στη σταθερότητα της σπονδυλικής μονάδας από ενδεχόμενη ιατρογενή υπερδιόρθωση διεγχειρητικά. Σε προοπτική μελέτη ύστερα από αντικατάσταση μεσοσπονδύλιου δίσκου, οι ασθενείς που προεγχειρητικά είχαν χαμηλότερους δίσκους, μετεγχειρητικά εμφάνισαν μεγαλύτερα επίπεδα ικανοποίησης στην τελευταία συνάντηση παρακολούθησης σε σχέση με τους ασθενείς με προεγχειρητικά υψηλότερους δίσκους [42].

Τα προβλήματα που υπάρχουν στη βιβλιογραφία για τον ακριβή ορισμό της ΝΠΔ δυσχεραίνουν τον ακριβή υπολογισμό της επίπτωσης της. Οι βιβλιογραφικές αναφορές για την ανάγκη αναθεώρησης επέμβασης στη σπονδυλική στήλη λόγω ΝΠΔ δεν είναι σε συμφωνία και παρουσιάζουν εύρος εμφάνισης του προβλήματος από 2 έως 15% [24]. Ένας αρκετά μεγάλος αριθμός παραγόντων έχει θεωρηθεί υπεύθυνος για την εμφάνιση της νόσου, είτε προϋπάρχοντες είτε κακής διεγχειρητικής τεχνικής, ενώ ολοένα προστίθενται νέες αιτίες σε αυτή τη λίστα. Παρ' όλα αυτά, είναι δύσκολο να εξακριβωθεί ποιοι από τους παράγοντες αυτούς είναι οι σημαντικότεροι. Πιο αξιόπιστα συνδέονται με την εμφάνιση ΝΠΔ η πεταλεκτομή γειτονικά σε σπονδυλοδεσία και η αποτυχία ισορρόπησης του σπονδυλικού τμήματος σε οβελιαίο επίπεδο. Εξαιρετική προσοχή προτείνεται στην αποφυγή υπερδιάτασης και στην σωστή γωνιώδη και πλαγιοπλάγια ευθυγράμμιση κατά την επέμβαση αρθρόδεσης [43]. Η υπο- ή υπερδιόρθωση μιας εκφυλισμένης σπονδυλικής μονάδας φαίνεται να οδηγεί σε περισσότερα προβλήματα παρά τελικά να βοηθάει τον ασθενή να απαλλαγεί από τον πόνο. Εξαιτίας της σημαντικής επίδρασης των θυλακικών συνδεσμικών στοιχείων στην τμηματική ακαμψία, κάκωση τους λόγω υπερβολικής διάτασης μπορεί να αυξήσει την αστάθεια σε όλες τις κατευθύνσεις. Η ιατρογενής υπερδιάταση είναι αναγνωρισμένος παράγοντας πρόκλησης ΝΠΔ και αποτελεί την αιτία πίσω από την οβελιαία ανισορροπία και τη μεταβολή του τροπισμού των ζυγοαποφυσιακών αρθρώσεων [40].

Σε μια άλλη πρόσφατη μελέτη, διερευνήθηκε η επίδραση του προεγχειρητικού ύψους του δίσκου και η ιατρογενής διάταση κατά τη διάρκεια επέμβασης ολικής αντικατάστασης δίσκου στο διάστημα O5-I1 [44]. Η υπέρμετρη διάταση δεν συνεισφέρει στην συνολική σταθερότητα της σπονδυλικής μονάδας ούτε στις κινήσεις κάμψεις, αλλά ούτε και στις στροφικές ή κινήσεις πλάγιας κάμψης. Η υπερδιάταση μπορεί να προκαλέσει βλάβη στα συνδεσμικά και θυλακικά στοιχεία των ζυγοαποφυσιακών αρθρώσεων λόγω αυξημένων ασκούμενων φορτίων, τόσο διεγχειρητικά όσο και μετεγχειρητικά. Αυτά τα πιθανά αυξημένα φορτία προσφέρουν μια ερμηνεία της κλινικής αποτυχίας της συγκεκριμένης επέμβασης μετά από ιατρογενή υπέρμετρη διάταση του μεσοσπονδύλιου διαστήματος. Ο Leivseth και οι συνεργάτες απέδειξαν ότι η διάταση κατά την ολική αντικατάσταση δίσκου είναι σταθερά μεγαλύτερη στο διάστημα O5-I1 σε σύγκριση με το O4-5, διαπίστωση που

ταιριάζει με τα μη ικανοποιητικά αποτελέσματα τεχνητού δίσκου στο O5-I1 [41,45-47]. Άλλη μελέτη επιχείρησε να διερευνήσει τη σχέση μεταξύ υπερδιάτασης κατά την οπίσθια διασωματική σπονδυλοδεσία (PLIF) στο O4-5 και την εμφάνιση ΝΠΔ με βραχεία μετεγχειρητική παρακολούθηση (3.2 έτη κατά μέσο όρο) σε μια σειρά 85 ασθενών. Η διαφορά στο ποσό διάτασης ανάμεσα στους ασθενείς που εμφάνισαν κλινική και ακτινολογική ΝΠΔ και σε αυτούς που δεν εμφάνισαν τη νόσο στο διάστημα παρακολούθησης, ήταν στατιστικά σημαντική σε μονοπαραγοντική και πολυπαραγοντική ανάλυση [48].

Η απώλεια της φυσιολογικής οσφυϊκής λόρδωσης είναι συχνή ύστερα από την εγκατάσταση της εκφυλιστικής διαδικασίας, οφείλεται στην απώλεια του ύψους του μεσοσπονδύλιου διαστήματος και οδηγεί στην ανάπτυξη του συνδρόμου επιπέδωσης. Το σύνδρομο αυτό περιγράφεται ως ορθοστατική κλίση του κορμού με απώλεια της φυσιολογικής λόρδωσης. Συνηθέστερη καταγεγραμμένη αιτία είναι η διεγχειρητική διάταση κατά την τοποθέτηση υλικών στην κατώτερη οσφυϊκή μοίρα. Οι επεμβάσεις που απαιτούν την τοποθέτηση υλικών οπισθίως συνήθως αναστηλώνουν μη ικανοποιητικά ή μη ανατομικά την οβελιαία ισορροπία πάνω από τα αρθροδεμένα επίπεδα, εξαιτίας της ιατρογενούς διάτασης. Υπολορδοτικά αρθροδεμένα οσφυϊκά τμήματα προκαλούν αναντιστοιχία ανάμεσα στην πυελική κλίση και την οσφυϊκή λόρδωση, η οποία εξαναγκάζει τα περιφερικά μη αρθροδεμένα σπονδυλικά τμήματα σε αντιρρόπηση για να διατηρηθεί η οβελιαία ισορροπία. Στους ασθενείς με σύνδρομο επιπέδωσης που διατηρούν οβελιαία ισορροπία της σπονδυλικής στήλης, οι ασθενείς αντιρροπούν χάρη σε οσφυοϊερά ελαστικότητα και μείωση της θωρακικής κύφωσης. Όταν όμως επέρχεται κόπωση των παρασπονδυλικών μυών και επιδείνωση της εκφύλισης των μεσοσπονδύλιων δίσκων, η διατήρηση της οβελιαίας ισορροπίας απαιτεί αύξηση της οπίσθιας κλίσης της πυέλου και της έκτασης των ισχίων. Τελικά, η δισκική εκφύλιση στα παρακείμενα διαστήματα εξελίσσεται και υπερνικά τους αντιρροπιστικούς μηχανισμούς, με αποτέλεσμα οβελιαία ανισορροπία και επιδείνωση της συμπτωματολογίας. Η σημασία της διατήρησης της οβελιαίας ισορροπίας μετεγχειρητικά καθιστά την ανάγκη σωστού προεγχειρητικού σχεδιασμού επιτακτική. Η ορθή αναστήλωση του μεσοσπονδύλιου διαστήματος διορθώνει την οσφυϊκή λόρδωση (αυξάνοντας το ύψος προς πιο ανατομικές τιμές) μέσω διαφορικής διάτασης της πρόσθιας κολώνας, ενώ επίσης αποσυμπιέζει τις νευρικές ρίζες στο μεσοσπονδύλιο τμήμα. Η ορθή αναστήλωση του μεσοσπονδύλιου διαστήματος και της οσφυϊκής λόρδωσης είναι σημαντικά αν θέλουμε να έχουμε καλά χειρουργικά αποτελέσματα [49,50].

Η μετάφραση των τιμών του ICC πραγματοποιήθηκε βάσει των προτάσεων του Fleiss, δηλαδή αν $ICC < 0.4$ τότε η συμφωνία θεωρείται πτωχή, αν οι τιμές βρίσκονται ανάμεσα σε 0.4 έως 0.74 τότε η συμφωνία θεωρείται ικανοποιητική έως καλή, αν $ICC > 0.75$ τότε η συμφωνία θεωρείται εξαιρετική πέρα από τύχη [51]. Κατά συνέπεια, θεωρούμε την συμφωνία μεταξύ των μετρήσεων του ίδιου και μεταξύ δύο παρατηρητών στη μέθοδο μας εξαιρετική. Η συμφωνία μεταξύ του ίδιου παρατηρητή ήταν ελαφρώς καλύτερη. Επίσης, κρίνοντας από τη μέση διάφορά των μετρήσεων δεν

υπήρχε παρουσία προκατάληψης, και το εύρος των μετρήσεων ήταν αποδεκτό τόσο μεταξύ του ίδιου όσο και μεταξύ παρατηρητών. Πρόκειται για μια εύκολη στην εφαρμογή και αναπαραγωγή μέθοδο για κάθε ακτινολόγο ή ορθοπαιδικό χειρουργό με το κατάλληλο λογισμικό.

4. Ερευνητικό πρωτόκολλο εθελοντών

Στην παρούσα μελέτη, υπολογίστηκε ότι η συνολική απώλεια ύψους ύστερα από 6 ώρες με σακίδιο ράχης που περιέχει το 10% του σωματικού βάρους πλησιάζει στο μέσο της ημέρας το 1cm (0.926cm, σταθερή απόκλιση 1.05cm). Το ποσό αυτό δεν είναι αμελητέο αν συγκριθεί με τις συνήθεις απώλειες κατά τη διάρκεια της ημερήσιας μεταβολής που φτάνουν τα 1.5-1.9cm [52]. Στην ΑΜΣΣ, τα αποτελέσματα δείχνουν ότι υπάρχει μικρή συνολική απώλεια, με μεγάλη σταθερή απόκλιση, γεγονός που θα μπορούσε να ερμηνεύσει τις τιμές στα όρια του στατιστικού σφάλματος. Το μεγαλύτερο μέρος από τις συνολικές απώλειες χάνεται στη ΘΜΣΣ (53.5%), γεγονός λογικό μιας και εκεί βρίσκονται 11 δίσκοι σε αντίθεση με 6 στην ΟΜΣΣ (39.5%). Όμως παρατηρείται ότι η μέση απώλεια ανά δίσκο είναι μεγαλύτερη στην ΘΜΣΣ (3.3%) σε σχέση με την ΟΜΣΣ (2.4%). Οι απόλυτες τιμές των διαφορών αυτών δεν διέφεραν στατιστικά σημαντικά ανάμεσα στις 2 μοίρες ($p=0.6$), ωστόσο η μέση απώλεια ανά δίσκο ήταν διαφορετική. Θα μπορούσε κανείς να υποθέσει, αν και δεν μπορεί να τεκμηριωθεί, ότι οι δίσκοι στην οσφυϊκή μοίρα είναι προσαρμοσμένοι καλύτερα για την απορρόφηση φορτίων, ή ότι κατά την κατακεκλιμένη θέση κατά τη διάρκεια της μαγνητικής επαναρρόφησης πιο γρήγορα υγρό. Η μέση ανά δίσκο απώλεια ύψους από τον Α7 σπόνδυλο έως τον Ι1 είναι της τάξης 0.016cm με σταθερή απόκλιση 0.012cm. Η μέση ανά δίσκο και ανά σπονδυλική μοίρα απώλεια ύψους είναι μικρότερη από 2 προηγούμενες μελέτες όπου μετρήθηκε με μαγνητική τομογραφία το ύψος του δίσκου πριν και μετά από αθλητική δραστηριότητα (τρέξιμο), με διαφορετική μεθοδολογία και διαφορετικό πληθυσμό, οπότε συγκριτικά συμπεράσματα δεν είναι ασφαλή [53,54].

Ο τρόπος με τον οποίο τα φορτία μεταβάλλουν το ύψος του δίσκου προκαλεί ενδιαφέρον για δύο λόγους. Πρώτον διότι η μείωση του ύψους προκαλεί στενωτικά φαινόμενα στο μεσοσπονδύλιο τμήμα και αλλάζει την εμβιομηχανική του διαμερισμού των φορτίων στη σπονδυλική μονάδα. Δεύτερον διότι έχει άμεση σχέση με τη βιοχημική σύσταση του δίσκου. Τα σπονδυλικά φορτία που χαρακτηρίζονται από δυναμικές μεταβολές που εμπεριέχονται στη φυσιολογική ημερήσια διακύμανση της ενδοδισκικής πίεσης (0.2 – 0.6 Mpa) και συχνότητας (0.2 -1 Hz) είναι απαραίτητα για τη διατήρηση της υγείας και εύρυθμης λειτουργίας του φυσιολογικού μεσοσπονδύλιου δίσκου. Διατηρείται η δυναμική ισορροπία της εξωκυττάριας θεμέλιας ουσίας του δίσκου με αυτόν τον τρόπο και δρα συνεργικά στη διαφοροποίηση αρχέγονων κυττάρων προς σειρά χονδροκυττάρων υπό την επίδραση αυξητικών παραγόντων [55-57]. Αντίστροφα, παρατεταμένη έκθεση σε στατική φόρτιση προκαλεί κυτταρικό θάνατο και επάγει την εκφύλιση, ενώ παρατεταμένη μη φόρτιση του δίσκου, όπως σε κατακεκλιμένους ασθενείς, προκαλεί απώλεια των πρωτεογλυκανών του δίσκου [58].

Η ημερήσια διακύμανση του αναστήματος είναι καλά περιεγραμμένη στη βιβλιογραφία, και εξηγείται σχεδόν αποκλειστικά από την αντίστοιχη διακύμανση του ύψους του μεσοσπονδύλιου δίσκου [59,60]. Έχει αποδειχθεί σε συνθήκες *in vitro*

ότι ο μεσοσπονδύλιος δίσκος δρα σαν ωσμωτικό σύστημα χάρη στο πλούσιο σε γλυκοζαμινογλυκάνες περιεχόμενο του πηκτοειδή πυρήνα που σχετίζεται με την τάση του προς ενυδάτωση [61]. Η συμπεριφορά ενός ωσμωτικού συστήματος σε σχέση με την κατακράτηση ύδατος είναι μια δυναμική κατάσταση ισορροπίας ανάμεσα στην ωσμωτική πίεση που συγκρατεί το νερό και την υδροστατική πίεση που τείνει να το αποβάλλει. Η υφέρπουσα απόκριση του δίσκου στα φορτία εξηγείται από αυτή την κατάσταση. Η μεγάλη μείωση του ύψους του δίσκου στα σταθερά συμπιεστικά φορτία επέρχεται νωρίς, καθώς η υδροστατική πίεση υπερνικά την ωσμωτική δύναμη του δίσκου, και στη συνέχεια επιβραδύνεται ο ρυθμός απώλειας ύψους μέχρι ένα όριο στην πορεία ωρών. Επέρχεται επίσης μικρή μείωση του ύψους από την σταδιακή παραμόρφωση του ινώδους δακτυλίου με κυκλοτερή διεύρυνση του δίσκου [62]. Υπό την επίδραση μεγάλων φορτίων (όρθια στάση, μεταφορά βάρους), ο μεσοσπονδύλιος δίσκος παραμορφώνεται, η ενδοδισκική υδροστατική του πίεση αυξάνεται και υγρό εξωθείται από το δίσκο. Η απώλεια ύδατος αυξάνει την περιεκτικότητα σε πρωτεογλυκάνες και την ανιονική πυκνότητα φορτίου και καταλήγει σε κατάσταση μεγαλύτερης ωσμωτικότητας και μικρότερου pH. Κατά τη φυσιολογική κατάκλιση, η υδροστατική πίεση μειώνεται και επαναρροφάται υγρό.

Περίπου το 20-25% του υδατικού περιεχομένου του δίσκου διακινείται φυσιολογικά σε κάθε ημερήσιο κύκλο μεταξύ όρθιας στάσης και βραδινής κατάκλισης [63,64]. Υπάρχουν δύο είδη ασκούμενων φορτίων στη σπονδυλική στήλη κατά την όρθια στάση. Τα συμπιεστικά φορτία, που ασκούνται κατά τη διάρκεια δραστηριοτήτων που περιλαμβάνουν άρση βάρους, και τα φορτία πρόσκρουσης που ασκούνται κατά την προσγείωση σε δραστηριότητες που περιλαμβάνουν άλματα, όπως το τρέξιμο. Διάφορες δραστηριότητες μέσα στην ημέρα μπορούν να επηρεάσουν το μέγεθος των ασκούμενων φορτίων και κατά συνέπεια το ποσό απώλειας υγρού από το δίσκο. Έχει βρεθεί ότι το τρέξιμο διάρκειας μίας ώρας προκάλεσε μεγαλύτερη απώλεια ύψους (και άρα μεγαλύτερη απώλεια υγρού) σε σχέση με 7.5 ώρες στατικής δραστηριότητας σε ανθρώπους [65].

Από τα αποτελέσματα της τωρινής μελέτης, φαίνεται πως μεγάλη απώλεια σε ύψος και κατά συνέπεια σε νερό παρατηρείται στα διαστήματα O4-5 και O5-I1. Η αιτία πίσω από αυτή την παρατήρηση οφείλεται οπωσδήποτε αφ' ενός στην αποδεδειγμένα χαμηλή περιεκτικότητα του δίσκου στο O5-I1 σε πρωτεογλυκάνες με αποτέλεσμα χαμηλή ωσμωτική πίεση [61]. Αφ' ετέρου, η μεταφορά φορτίων στους συγκεκριμένους δίσκους γίνεται υπό μεγαλύτερη γωνία απ' ότι στα υπόλοιπα μεσοσπονδύλια διαστήματα με αποτέλεσμα την εφαρμογή έκκεντρων δυνάμεων και πιθανώς μεγαλύτερων συμπιεστικών φορτίων και μεγαλύτερη αύξηση της υδροστατικής πίεσης [19,66]. Βέβαια, παρ' ότι συμφωνούμε με προηγούμενες μελέτες ότι το O4-5 και O5-I1 χάνουν το περισσότερο ύψος στην οσφυϊκή μοίρα, τα αποτελέσματά μας αναδεικνύουν και άλλα διαστήματα τόσο στην οσφυϊκή όσο και στη θωρακική μοίρα τα οποία συμμετέχουν στην απώλεια ύψους συνολικά της σπονδυλικής στήλης [67]. Τέλος, σε όλο το μήκος της θωρακικής μοίρας και της οσφυϊκής, παρατηρείται το φαινόμενο ότι κυρίως μειώνεται το μεσαίο ύψος του

δίσκου, κυρίως δηλαδή στην περιοχή του πηκτοειδή πυρήνα. Το συγκεκριμένο συμπέρασμα θα πρέπει να υιοθετείται με προσοχή, καθώς υπάρχουν περιορισμοί στη μεθοδολογία, όπως το ότι η MRI διενεργείται σε οριζόντια κατακεκλιμένη θέση, ενώ υπάρχουν αποτελέσματα από MRI σε όρθια στάση που δείχνουν σημαντική μείωση και του πρόσθιου ύψους του δίσκου. Επίσης, σε συνθήκες *in vitro* με πτωματικό δισκικό υλικό, υπολογίστηκε ότι η μεγαλύτερη απώλεια ύδατος γίνεται από τον ινώδη δακτύλιο και όχι από τον πηκτοειδή πυρήνα [68].

Ο σχεδιασμός της μεθόδου του συγκεκριμένου πρωτοκόλλου βασίστηκε σε αποτελέσματα προηγούμενων μελετών. Κατ' αρχήν, εξαλείφτηκε η επίδραση της φυσιολογικής ημερήσιας απώλειας ύψους στη σπονδυλική στήλη, ζητώντας από του εθελοντές να φορέσουν το σακίδιο μετά την πρώτη ώρα μετά την έγερση από τη βραδινή κατάκλιση. Έχει υπολογιστεί ότι η μεγαλύτερη απώλεια ύψους επισυμβαίνει την πρώτη ώρα ορθοστάτησης μετά τη βραδινή κατάκλιση [52,69]. Επίσης, η οσφυϊκή λόρδωση φαίνεται πως δε μεταβάλλεται από φορτία με σακίδιο ράχης μέχρι το 10% του σωματικού βάρους, σύμφωνα με δύο πρόσφατες μελέτες [67,70]. Πρόκειται για την πρώτη μελέτη που μελετά τις διαφορές του ύψους του δίσκου με συστηματικό τρόπο στην αυχενική, οσφυϊκή και τη θωρακική μοίρα της σπονδυλικής στήλης.

Βιβλιογραφία

1. Irvine DH, Foster JB, Newell DJ, Klukvin BN. Prevalence of cervical spondylosis in general practice. *Lancet*. 1965;285(7395):1089–92.
2. Chau AMT, Mobbs RJ. Bone graft substitutes in anterior cervical discectomy and fusion. *Eur Spine J*. 2009;18(4):449–64.
3. Friendenberg ZB, Miller WT. Degenerative disc disease of the cervical spine: A comparative study of asymptomatic and symptomatic patients. *J Bone Joint Surg*. 1963;45A:1171-1178.
4. Fountas KN, Kapsalaki EZ, Nikolakakos LG, Smisson HF, Johnston KW, Grigorian AA, et al. Anterior cervical discectomy and fusion associated complications. *Spine*. 2007;32(21):2310–7. doi: 10.1097/BRS.2310b2013e318154c318157e.
5. Chong E, Pelletier MH, Mobbs RJ, Walsh WR. The design evolution of interbody cages in anterior cervical discectomy and fusion: a systematic review. *BMC Musculoskelet Disord*. 2015;25:16:99. doi: 10.1186/s12891-015-0546-x.
6. Chang H, Baek DH, Choi BW. The Relationship between Increased Intervertebral Disc Height and Development of Postoperative Axial Neck Pain after Anterior Cervical Fusion. *J Korean Neurosurg Soc*. 2014;55(6):343-7. doi: 10.3340/jkns.2014.55.6.343.
7. Farmer J, Albert TJ, Balderston RA, Vaccaro A. Foraminal pressure changes during intervertebral distraction simulating anterior cervical discectomy. *J Spinal Disord*. 1998;11(4):307-11.
8. Frobin W, Leivseth G, Biggemann M, Brinckmann P. Vertebral height, disc height, posteroanterior displacement and dens–atlas gap in the cervical spine: precision measurement protocol and normal data. *Clin Biomech*. 2002;17(6):423–31.
9. Abuzayed B, Tutunculer B, Kucukyuruk B, Tuzgen S. Anatomic basis of anterior and posterior instrumentation of the spine: morphometric study. *Surg Radiol Anat*. 2010;32(1):75-85. doi: 10.1007/s00276-009-0545-4.
10. Pait TG, Killefer JA, Arnautovic KI. Surgical anatomy of the anterior cervical spine: the disc space, vertebral artery, and associated bony structures. *Neurosurgery*. 1996;39(4):769–76.
11. Lu J, Ebraheim NA, Yang H, Rollins J, Yeasting RA. Anatomic bases for anterior spinal surgery: surgical anatomy of the cervical vertebral body and disc space. *Surg Radiol Anat*. 1999;21(4):235-9.
12. Pal GP, Sherk HH. The vertical stability of the cervical spine. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1988;13(5):447-9.
13. Olsewski JM, Garvey TA, Schendel MJ. Biomechanical analysis of facet and graft loading in a Smith-Robinson type cervical spine model. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1994;19(22):2540-4.

14. Lu T, Luo C, Ouyang B, Chen Q, Deng Z. Effects of C5/C6 Intervertebral Space Distraction Height on Pressure on the Adjacent Intervertebral Disks and Articular Processes and Cervical Vertebrae Range of Motion. *Med Sci Monit.* 2018;24:2533-2540.
15. Hurxthal LM. Measurement of anterior vertebral compressions and biconcave vertebrae. *Am J Roentgenol Radium Ther Nucl Med.* 1968;103:635–644.
16. Pooni JS, Hukins DW, Harris PF, Hilton RC, Davies KE. Comparison of the structure of human intervertebral discs in the cervical, thoracic and lumbar regions of the spine. *Surg Radiol Anat.* 1986;8:175–182.
17. Giles LGF, Singer KP. Clinical anatomy and management of thoracic spine pain. Butterworth-Heinemann, Oxford; 2000.
18. Kunkel ME, Herkommer A, Reinehr M, Bockers TM, Wilke HJ. Morphometric analysis of the relationships between intervertebral disc and vertebral body heights: an anatomical and radiographic study of the human thoracic spine. *J Anat.* 2011;219:375–387.
19. White AA, Panjabi MM. Clinical biomechanics of the spine. Lippincott, Philadelphia; 1990.
20. Brasiliense LB, Lazaro BC, Reyes PM, Dogan S, Theodore N, Crawford NR. Biomechanical contribution of the rib cage to thoracic stability. *Spine.* 2011;36:E1686–E1693.
21. Andriacchi T, Schultz A, Belytschko T, Galante J. A model for studies of mechanical interactions between the human spine and rib cage. *J Biomech.* 1974;7:497–507.
22. Fletcher JG, Stringer MD, Briggs CA, Davies TM, Woodley SJ. CT morphometry of adult thoracic intervertebral discs. *Eur Spine J.* 2015;24(10):2321-9. doi: 10.1007/s00586-015-3925-y.
23. Wang H, Chen W, Jiang J, Lu F, Ma X, Xia X. Analysis of the correlative factors in the selection of interbody fusion cage height in transforaminal lumbar interbody fusion. *BMC Musculoskelet Disord.* 2016;17:9.
24. Lee JC, Choi SW. Adjacent segment pathology after lumbar spinal fusion. *Asian Spine J.* 2015;9:807-817.
25. Jarman JP, Arpinar VE, Baruah D, Klein AP, Maiman DJ, Tugan Muftuler L. Intervertebral disc height loss demonstrates the threshold of major pathological changes during degeneration. *Eur Spine J.* 2015;24:1944-1950.
26. Twomey L, Taylor J. Age changes in lumbar intervertebral discs. *Acta Orthop Scand.* 1985;56:496–499.
27. Haefeli M, Kalberer F, Saegesser D, Nerlich AG, Boos N, Paesold G. The course of macroscopic degeneration in the human lumbar intervertebral disc. *Spine (Phila Pa 1976).* 2006;31:1522-1531.
28. Hassett G, Hart DJ, Manek NJ, Doyle DV, Spector TD. Risk factors for progression of lumbar spine disc degeneration: the Chingford Study. *Arthritis Rheum.* 2003;48:3112-3117.
29. Videman T, Battié MC, Parent E, Gibbons LE, Vainio P, Kaprio J. Progression and determinants of quantitative magnetic resonance imaging

- measures of lumbar disc degeneration: a five-year follow-up of adult male monozygotic twins. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2008;33:1484-1490.
30. Kerttula LI, Serlo WS, Tervonen OA, Pääkkö EL, Vanharanta HV. Post-traumatic findings of the spine after earlier vertebral fracture in young patients: clinical and MRI study. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2000;25:1104-1108.
 31. Billy GG, Lemieux SK, Chow MX. Changes in lumbar disk morphology associated with prolonged sitting assessed by magnetic resonance imaging. *PM R*. 2014;6:790-795. doi: 10.1016/j.pmrj.2014.02.014.
 32. Kanayama M, Togawa D, Takahashi C, Terai T, Hashimoto T. Cross-sectional magnetic resonance imaging study of lumbar disc degeneration in 200 healthy individuals. *J Neurosurg Spine*. 2009;11:501-507. doi: 10.3171/2009.5.SPINE08675.
 33. Teraguchi M, Yoshimura N, Hashizume H, Muraki S, Yamada H, Minamide A, et al. Prevalence and distribution of intervertebral disc degeneration over the entire spine in a population-based cohort: the Wakayama Spine Study. *Osteoarthritis Cartilage*. 2014;22:104-110. doi: 10.1016/j.joca.2013.10.019.
 34. Mannion AF, Leivseth G, Brox JI, Fritzell P, Hägg O, Fairbank JC. ISSLS Prize winner: Long-term follow-up suggests spinal fusion is associated with increased adjacent segment disc degeneration but without influence on clinical outcome: results of a combined follow-up from 4 randomized controlled trials. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2014;39:1373-1383.
 35. Adams MA, Dolan P. Intervertebral disc degeneration: evidence for two distinct phenotypes. *J Anat*. 2012;221:497-506.
 36. Zhong W, Driscoll SJ, Wu M, Wang S, Liu Z, Cha TD, et al. In vivo morphological features of human lumbar discs. *Medicine (Baltimore)*. 2014;93:e333. doi: 10.1097/MD.0000000000000333..
 37. Pfirrmann CW, Metzdorf A, Elfering A, Hodler J, Boos N. Effect of aging and degeneration on disc volume and shape: A quantitative study in asymptomatic volunteers. *J Orthop Res*. 2006;24:1086-1094.
 38. Froholdt A, Brox JI, Reikerås O, Leivseth G. Disc height and sagittal alignment in operated and non-operated levels in the lumbar spine at long-term follow-up: a case-control study. *Open Orthop J*. 2013;7:258-263.
 39. Frobin W, Brinckmann P, Biggemann M, Tillotson M, Burton K. Precision measurement of disc height, vertebral height and sagittal plane displacement from lateral radiographic views of the lumbar spine. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. 1997;12 Suppl 1:S1-S63.
 40. Meijer GJ, Homminga J, Veldhuizen AG, Verkerke GJ. Influence of interpersonal geometrical variation on spinal motion segment stiffness: implications for patient-specific modeling. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2011;36:E929-935. doi: 10.1097/BRS.0b013e3181fd7f7f.
 41. Dreischarf M, Schmidt H, Putzier M, Zander T. Biomechanics of the L5-S1 motion segment after total disc replacement - Influence of iatrogenic distraction, implant positioning and preoperative disc height on the range of

- motion and loading of facet joints. *J Biomech.* 2015;48:3283-3291. doi: 10.1016/j.jbiomech.2015.06.023.
42. Siepe CJ, Hitzl W, Meschede P, Sharma AK, Khattab MF, Mayer MH. Interdependence between disc space height, range of motion and clinical outcome in total lumbar disc replacement. *Spine (Phila Pa 1976).* 2009;34:904-916.
 43. Radcliff KE, Kepler CK, Jakoi A, Sidhu GS, Rihn J, Vaccaro AR, Albert TJ, Hilibrand AS. Adjacent segment disease in the lumbar spine following different treatment interventions. *Spine J.* 2013;13:1339-1349.
 44. Strube P, Hoff EK, Schürings M, Schmidt H, Dreischarf M, Rohlmann A, Putzier M. Parameters influencing the outcome after total disc replacement at the lumbosacral junction. Part 2: distraction and posterior translation lead to clinical failure after a mean follow-up of 5 years. *Eur Spine J.* 2013;22:2279-2287.
 45. Leivseth G, Braaten S, Frobin W, Brinckmann P. Mobility of lumbar segments instrumented with a ProDisc II prosthesis: a two-year follow-up study. *Spine (Phila Pa 1976).* 2006;31:1726-1733.
 46. Siepe CJ, Korge A, Grochulla F, Mehren C, Mayer HM. Analysis of post-operative pain patterns following total lumbar disc replacement: results from fluoroscopically guided spine infiltrations. *Eur Spine J.* 2008;17:44-56.
 47. Siepe CJ, Mayer HM, Heinz-Leisenheimer M, Korge A. Total lumbar disc replacement: different results for different levels. *Spine (Phila Pa 1976).* 2007;32:782-790.
 48. Kaito T, Hosono N, Mukai Y, Makino T, Fuji T, Yonenobu K. Induction of early degeneration of the adjacent segment after posterior lumbar interbody fusion by excessive distraction of lumbar disc space. *J Neurosurg Spine.* 2010;12:671-679.
 49. Boody BS, Rosenthal BD, Jenkins TJ, Patel AA, Savage JW, Hsu WK. Iatrogenic Flatback and Flatback Syndrome: Evaluation, Management, and Prevention. *Clin Spine Surg* 2017;30(4):142-149. doi: 10.1097/BSD.0000000000000522
 50. Kepler CK, Rihn JA, Radcliff KE, Patel AA, Anderson DG, Vaccaro AR, et al. Restoration of lordosis and disk height after single-level transforaminal lumbar interbody fusion. *Orthop Surg.* 2012;4(1):15-20. doi: 10.1111/j.1757-7861.2011.00165.x.
 51. Fleiss J. The design and analysis of clinical experiments. Wiley, New York; 1986.
 52. Tyrrell AR, Reilly T, Troup JD. Circadian variation in stature and the effects of spinal loading. *Spine (Phila Pa 1976).* 1985;10:161-164
 53. Dimitriadis AT, Papagelopoulos PJ, Smith FW, Mavrogenis AF, Pope MH, Karantanis AH, et al. Intervertebral disc changes after 1 h of running: a study on athletes. *J Int Med Res.* 2011;39(2):569-79.
 54. Kingsley MI, D'Silva LA, Jennings C, Humphries B, Dalbo VJ, Scanlan AT. Moderate-intensity running causes intervertebral disc compression in young

- adults. *Med Sci Sports Exerc.* 2012;44(11):2199-204. doi: 10.1249/MSS.0b013e318260dbc1.
55. MacLean JJ, Lee CR, Alini M, Iatridis JC. The effects of short-term load duration on anabolic and catabolic gene expression in the rat tail intervertebral disc. *J Orthop Res.* 2005;23(5):1120–1127. doi:10.1016/j.orthres.2005.01.020.
 56. Walsh AJ, Lotz JC. Biological response of the intervertebral disc to dynamic loading. *J Biomech.* 2004;37(3):329–337. doi: 10.1016/S0021-9290(03)00290-2.
 57. Campbell JJ, Lee DA, Bader DL. Dynamic compressive strain influences chondrogenic gene expression in human mesenchymal stem cells. *Biorheology.* 2006;43(3–4):455–470. doi: 10.1016/j.bbrc.2008.09.154.
 58. Lotz JC, Chin JR. Intervertebral disc cell death is dependent on the magnitude and duration of spinal loading. *Spine (Philadelphia, PA, 1976).* 2000;25(12):1477–1483.
 59. Goode JD, Theodore BM. Voluntary and diurnal variation in height and associated surface contour changes in spinal curves. *Eng Med.* 1983;12(2):99-101
 60. Krag MH, Cohen MC, Haugh LD, Pope MH. Body height change during upright and recumbent posture. *Spine (Phila Pa 1976).* 1990;15(3):202-7.
 61. Urban JP, McMullin JF. Swelling pressure of the lumbar intervertebral discs: influence of age, spinal level, composition, and degeneration. *Spine (Phila Pa 1976).* 1988;13(2):179-87.
 62. Botsford DJ, Esses SI, Ogilvie-Harris DJ. In vivo diurnal variation in intervertebral disc volume and morphology. *Spine.* 1994;19(8):935–40.
 63. Sivan S, Neidlinger-Wilke C, Würtz K, Maroudas A, Urban JP. Diurnal fluid expression and activity of intervertebral disc cells. *Biorheology.* 2006;43(3–4):283–291.
 64. Chan SC, Ferguson SJ, Gantenbein-Ritter B. The effects of dynamic loading on the intervertebral disc. *Eur Spine J.* 2011;20(11):1796-812. doi: 10.1007/s00586-011-1827-1.
 65. White TL, Malone TR. Effects of running on intervertebral disc height. *J Orthop Sports Phys Ther.* 1990;12(4):139–146.
 66. Adams MA, Hutton WC. The effect of posture on the role of the apophysial joints in resisting intervertebral compressive forces. *J Bone Joint Surg Br.* 1980;62(3):358-62.
 67. Shymon S, Hargens AR, Minkoff LA, Chang DG. Body posture and backpack loading: an upright magnetic resonance imaging study of the adult lumbar spine. *Eur Spine J.* 2014;23(7):1407-13. doi: 10.1007/s00586-014-3247-5.
 68. Adams MA, Hutton WC. The effect of posture on the fluid content of lumbar intervertebral discs. *Spine (Phila Pa 1976).* 1983;8(6):665-71.
 69. Styf JR, Ballard RE, Fechner K, Watenpaugh DE, Kahan NJ, Hargens AR. Height increase, neuromuscular function, and back pain during 6 degrees head-down tilt with traction. *Aviat Sp Env Med.* 1997;68:24–29.

70. Neuschwander TB, Cutrone J, Macias BR, Cutrone S, Murthy G, Chambers H, et al. The effect of backpacks on the lumbar spine in children: a standing magnetic resonance imaging study. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2010;35:83–88.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΣΤ: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Μετρήθηκε με σαφήνεια και τη χρήση απεικονιστικών δεικτών το μεσοσπονδύλιο διάστημα. Καταγράφονται ανατομικά δεδομένα σε πίνακες με σκοπό να χρησιμοποιηθούν σαν βάση δεδομένων. Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε για τις μετρήσεις των διαστάσεων του μεσοσπονδύλιου διαστήματος αποδείχτηκε ότι είναι αξιόπιστη, επαναλήψιμη και αναπαραγώγιμη από τον καθένα, σε οποιοδήποτε υγειονομικό σχηματισμό. Δεν απαιτούνται ειδικά μηχανήματα παρά ένας απλός ηλεκτρονικός υπολογιστής που να συνοδεύεται από μη εξειδικευμένο λογισμικό το οποίο είναι ευρέως διαθέσιμο διαδικτυακά.

Έγινε προσπάθεια κλινικής σύνδεσης των αποτελεσμάτων της μελέτης, ιδιαίτερα με με χειρουργικές τεχνικές ανακατασκευής του μεσοσπονδύλιου διαστήματος. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων μας στην αυχενική, θωρακική και οσφυϊκή μοίρα της σπονδυλικής στήλης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον προεγχειρητικό σχεδιασμό σε περιπτώσεις επεμβάσεων αναστήλωσης μεσοσπονδύλιου διαστήματος, ως επί εκφυστικής διεργασίας. Μέχρι τώρα, ο προεγχειρητικός σχεδιασμός για την επιλογή του μεγέθους του εμφυτεύματος μπορούσε να μεταβληθεί βάσει της ιατρογενούς διεγχειρητικής διάτασης, με πιθανές αρνητικές συνέπειες για το μετεγχειρητικό αποτέλεσμα αν τελικά το ύψος του μεσοσπονδύλιου διαστήματος υπερ- ή υποδιορθωθεί. Παρέχονται λοιπόν δεδομένα για την όσο το δυνατόν πιο ανατομική ανακατασκευή του μεσοσπονδύλιου διαστήματος είτε με κλωβούς σπονδυλοδεσίας είτε με τεχνητούς δίσκους.

Το πρωτόκολλο με τη βοήθεια εθελοντών-μαρτύρων σχεδιάστηκε με τρόπο ώστε να αναδειχτεί η ημερήσια μεταβολή του ύψους του μεσοσπονδύλιου δίσκου και κατά συνέπεια με έμμεσο τρόπο και η ημερήσια μεταβολή της υδατικής περιεκτικότητας του δίσκου, σε κάθε επίπεδο της σπονδυλικής στήλης. Με την τοποθέτηση ενός σχετικά μικρού βάρους σε σακίδιο ράχης σε συγκεκριμένο ελεγχόμενο χρονικό πλαίσιο και την διενέργεια εξέτασης με MRI για την απεικόνιση των αλλαγών. Οι δίσκοι με τη μεγαλύτερη διακύμανση ύψους φαίνεται πως εδράζονται στην κατώτερη θωρακική, θωρακοοσφυϊκή και οσφυϊκή μοίρα και είναι οι πιο ευαίσθητοι στις μεταβολές του βάρους αλλά και αυτοί που προσαρμόζονται καλύτερα σε αυτές τις μεταβολές των ασκούμενων φορτίων. Με την τοποθέτηση του βάρους, επιδιώξαμε να καταστήσουμε το φαινόμενο της ημερήσιας μεταβολής πιο έντονο και άρα, καλύτερα ανιχνεύσιμο απεικονιστικά. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα αποτελέσματα για τη συνολική απώλεια ύψους ανά σπονδυλική μοίρα και μέση απώλεια ανά δίσκο, που δεν έχουν καταγραφεί με αυτόν τον τρόπο στη βιβλιογραφία.



Magnetic resonance morphometry of the adult normal lumbar intervertebral space

Apostolos H. Fyllos^{1,2} · Dimitrios L. Arvanitis¹ · Apostolos H. Karantanas³ · Sokratis E. Varitimidis² · Michael Hantes² · Aristeidis H. Zibis¹

Received: 22 September 2017 / Accepted: 1 June 2018
© Springer-Verlag France SAS, part of Springer Nature 2018

Abstract

Purpose This study aims to: (a) quantify and evaluate normal relationships between neighboring spinal units using MR imaging indices, (b) propose an easy-to-apply-and-reproduce method of estimating the correct amount of distraction when surgically restoring a collapsed intervertebral disc, based on individualized measurements.

Methods This is a retrospective cross-sectional MR imaging study of 119 adult subjects, aged 18–54, asymptomatic for low back pain. Each of the examinees should demonstrate two or more consecutive intervertebral discs classified as Pfirrmann grade I or II to be included. We measured and studied the relationships of disc height index, Dabbs index, Farfan index, disc convexity index and mean and posterior disc height per spinal level using multiple regression analysis. All measurements were tested for intra- and interobserver agreement by two raters.

Results DHI, Dabbs, Farfan, and mean disc height had a statistically significant correlation with the spinal level and age. Our results were highly reproducible, with excellent inter- and intraobserver agreement and reliability between two raters (ICC = 0.992 and 0.994, respectively). Furthermore, we expressed each intervertebral space as a percentage of its adjacent space, introducing the coefficient α factor for every intervertebral space.

Conclusions Our results suggest that a normal values' database to refer during preoperative planning of correction of a degenerated intervertebral disc is feasible. Our study offers new anatomical and radiological insight in terms of spinal measurements and their potential correlation with current surgical techniques. A new approach for calculating disc space as an expression of its adjacent disc has been introduced with various potential applications.

Keywords Intervertebral disc · Spine · Magnetic resonance imaging · Anatomy

Introduction

Degenerative alterations in spinal anatomy over time correlate with new-onset symptomatology that ranges from annoying to crippling. When conservative treatment no longer relieves pain, surgical therapeutic interventions have been developed that aim at restoring normal spinal

relationships and function. Fusion is performed with structural constructs using mostly interbody cages in the disc space. Selecting an interbody cage with appropriate height is one of the key steps in lumbar interbody fusion, and has an important impact on clinical efficacy. An oversized cage leads to over distraction of intervertebral space and it might also increase possibility for injury to the nerve roots. Using a small fusion cage, on the other hand, will fail to restore the intervertebral height and lordosis, and may lead to severe complications such as cage migration and fusion failure, but the interbody cage height or perioperative distraction has long been determined by surgeons mostly based on their operational experience [30]. Another surgical option for patients with degenerative disc disease at a single level is total disc replacement (TDR), where intervertebral distraction is also part of the surgical technique. Postoperative complications due to insufficient

✉ Aristeidis H. Zibis
ahzibis@gmail.com

¹ Department of Anatomy, School of Medicine, University of Thessaly, Panepistimiou 3 (Biopolis), 41110 Larissa, Greece

² Department of Orthopedics, University Hospital of Larisa, 41110 Larissa, Greece

³ Department of Radiology, School of Medicine, University of Crete, 71110 Heraklion, Greece